

کتابخانه مصنف سرکار عالی حیدر آباد دکن

۲۰۹۱۲

نمبر جلد

تک جلد

کشف رموز السرمصون جلد ثانی

نام کتاب

مکاتب

ریاضی

۴۴۴

نمبر کتاب





هو الجزء الثاني من كتاب كشف رموز السر المصون \* في تطبيق  
 الهندسة على الفنون \* أبرزه من القرناسوية الى العربية  
 راجي رحة المعيد المبدى \* الفقير لمولاه السيد  
 صالح افندي \* تفر الله ذنوبه ومستر  
 في الدارين آمين  
 وادناه



فهرسة الجزء الثاني من كتاب كشف رموز السر المصون  
في تطبيق الهندسة على الفنون

صفحة	
٢	بيان ميكانيكا الحرف والصنائع والفنون المستطرفة
٢	الدرس الاول في ذكر مجموع الاقيسة المستعملة في الفنون الميكانيكية
٣	على العموم
٣	بيان الاقيسة الهندسية
٣	بيان اقيسة الطول
٧	بيان اقيسة السطوح
٨	بيان اقيسة الاتساع
٨	بيان اقيسة الميكانيكا وهي الاشكال
٩	بيان قياس القوى في الميكانيكا بالنقود
	الدرس الثاني في بيان ما ينشأ من الاقيسة وفي قوانين التحرك الاولى
٢١	وتطبيقها على الآلات
٢٤	بيان قوانين التحرك الاولى
٢٥	بيان التوازن
٣٦	بيان التناقل
٤٢	الدرس الثالث في بيان القوى المتوازية
٥٨	الدرس الرابع في بيان مراكز ثقل الآلات ومحصولات الصناعة وفي كيفية القوى
٦٤	بيان مركز ثقل السطوح
٦٤	بيان مركز ثقل المثلث
٦٥	بيان مركز ثقل ذي اربعة اضلاع
٦٧	بيان مقادير القوى المتوازية
٨٢	بيان استعمال مراكز الثقل لاجل تحصيل حجم بعض الاجسام

- ٨٤ الدرس الخامس في بيان ما بقى من قوانين التحرك  
الدرس السادس في بيان الالات البسيطة وهي الجبال والقناطر  
المعلقة وعدد دخول العربات وادوات السفن ولوازمها وما شبه  
ذلك ١٠٣  
١٠٣ بيان الجبال  
١٠٦ بيان الكبش (اي الشاهر دان) وهو الالة المعدة لدق الخواير  
١١٩ بيان القناطر المعلقة  
الدرس السابع في بيان ما بقى من الجبال وفي التحركات المستديرة  
للجبال والقصبان والهجلات والطيارات وفي مقادير الانزسى  
وفي البندولات ١٢٦  
١٤٧ بيان البندول  
١٥٧ بيان معادل الالات البخارية  
١٥٨ الدرس الثامن في بيان الرافعة  
١٦٦ بيان الرافعة التي من النوع الاول  
١٧٢ بيان الرافعة التي من النوع الثاني  
١٧٢ بيان الرافعة التي من النوع الثالث  
١٧٥ الدرس التاسع في بيان البكرات والمقات  
١٨٠ بيان البكر المتحرك  
١٨٩ بيان التناقل في البكرات  
١٩٨ الدرس العاشر في بيان المنجنون والطارات المضرسة  
٢٠٣ بيان تأثيرات التناقل في المنجنون  
الدرس الحادي عشر في بيان التوازن على المستويات الثابتة  
والمستويات المائلة وسكك الحديد التي مستوياتها مائلة ٢١٩  
٢٣٨ بيان المستويات المائلة

صيفه

الدرس الثاني عشر في بيان البريمة والالتواء والحبال والخابور

٢٤٤

وسائر الالات التي من هذا القبيل

٢٥٢

بيان التواء الحبال

٢٥٤

بيان الخابور

٢٦٥

الدرس الثالث عشر في بيان ما يقع في الالات من الاحتكاك

٢٨٦

الدرس الرابع عشر في بيان الضغط والشد والمرونة على العموم

٣٠٧

الدرس الخامس عشر في بيان اصطدام الاجسام



بيان ما وقع من الخطا والصواب في الجزء الثاني من كتاب كشف رموز  
السرمصون في تطبيق الهندسة على القنون

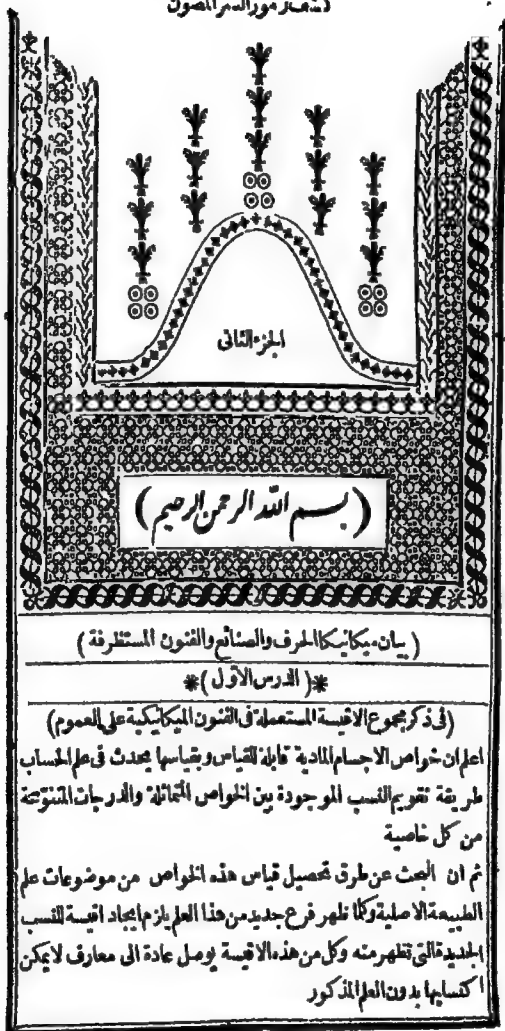
خطا	صواب	صفحة	سطر
أقيسة الاتساع	المكاييل	٨	١
اوالاتساع	اوالمكاييل	٨	٢
أقيسة السعة	للمكاييل	١٣	١٤
ومواد التجارة	وآلات التجارة	١٣	٢٣
عنتها	اعتبتها	١٣	٢٤
وا	وا	٣٣	١٧
ا	ا	٣٣	١٨
ا	ا	٣٣	١٩
ا	ا	٣٣	٢٤
كبة القوى	مقادير القوى	٥٨	١٣
مألفا	مألف	٦٠	١٠
ع	ع	٧٢	١٣
جلاقلة	صناع	٧٣	٧
ع	ع	٧٥	٣
ع	ع	٧٥	٤
ع	ع	٧٥	١
ع	ع	٨١	٦
ك من	ك من	٨١	٧
عند مركز	عن مركز	٨١	١٠
م من	م من	٩٨	١٥
د من	د من	٩٨	١٧
اذ انزلنا	اذ انزلنا	٩٩	٢٥

خطا	صواب	صفحة	سطر
اي المصنق	اي المصنق (وهكذا كلما جاء في هذا)	١٠٤	١٢
	الخر مصنق فصوابه مصنون		
بالنظرت	بالنظرات	١٠٣	١٨
ث ص ز ص	ث ص ز ص	١٠٨	٥
اسه	اسه	١٠٩	١٤
فص	فص	١٣٥	١٦
و غ م	و غ م	١٣٨	١٦
فتكون م التي هي مركبة	فتكون كية فتعزل م	١٤٤	٤
التعزل			
من نقطة د	من نقطة د	١٦١	٢٤
على لسان	على حالة	١٦٦	٢٠ و ١٩
لقوة س	لقوة س	١٧٤	٢١
وهو د	وهو د	١٧٤	٩
حل	حل	١٧٤	٣٧
س حل	س حل	١٧٤	١٩
خ ح	خ ح	١٧٨	٢
ح ح	ح ح	١٨٤	٤
الح	الح	١٨٥	٣
(ث +)	(ث +)	٢٠٢	٤
وقطة	وقط	٢٠٤	١٢
من ثقل	من مركز ثقل	٢٠٤	٢٣
مركبة	مركبة (شكل ٤)	٢٠٥	٢٠

[illegible]







ولنقتصر الآن على معرفة الأقيسة التي لا بد منها في علم الميكانيكا وأما الأقيسة الأصلية التي لا فائدة لها إلا في بعض فروع من هذا العلم وفي بعض فنون فسيبينها مرتبة عند الكلام على المواد الأصلية المتعلقة بها

\*( بيان الأقيسة الهندسية ) \*

تطلق الأقيسة الهندسية على أقيسة الامتداد وهي المسافات والسطوح والجوهر وتستعمل تلك الأقيسة في علم الميكانيكا لاجل قياس المسافات المشغولة والمقطوعة بالنقط والخطوط والسطوح والاجسام

\*( بيان أقيسة الطول ) \*

اتفقوا على أنه يمكن أخذ جزء من خط مستقيم كثير الامتداد أو قليله وجعله وحدة للطول وأنه يمكن أيضاً تغيير هذه الوحدة على حسب الأزمنة والامكنة والاحتياجات والاحوال ومن ثم ترى القرنساوية والنساوية والإيطاليتين والانكليزية وأغلب الملل يستعملون لقياس الأطوال وحدة مختلفة بل ترى في الغالب الأمة الواحدة تستعمل في أقاليمها المتسعة أقيسة للطول غير متجانسة بالكلية

ومثل هذا الاختلاف ينشأ عنه خطأ كبير في عمليات الفنون والتجارة وما به مخالطة الأهالي وارتباط بعضهم ببعض وبواسطته يلزم معرفة نسبة الأحاد المتضادة للمعدة لقياس الأشياء المتجانسة معرفة صحيحة تامة فإذا اردنا عمل ما يلزم من الحسابات للاشغال الميكانيكية والنقل والبيع والشراء يلزم تحصيل الأرقام لاجل معرفة المقدار الحقيقي للابعاد والأسعار

وجقطع النظر عما يترتب على هذا التحويل من ضياع الزمن يوجد في وسائط التحويل المذكورة نقص بين بعض به من ليس معه زمن كاف ولا قدرة له على فهم مثل تلك الحسابات المشكلة التي لم تزل آخذة في الزيادة فاذن يجب على كل ملكة أن لا تستعمل في جميع اراضيها الأنواع واحد من الأقيسة

وإذا اعنت النظر رأيت أيضاً أنه يلزم ذلك لجميع الناس لاصحاب الأمة المتحدة نظراً لحايلهم الأهلية

ومن ثم كانت مملكة البلاد الواطية وقسم من بلاد السويصة واليومون  
ومملكة إيطاليا القديمة ومملكة نابلي تستعمل الان انواع الاقيسة التي  
اصطلح عليها الفرنسيون ولولا ما يوجد عند بعض الامم من المناقصة والغيرة  
لاستعملت تلك الانواع عند جميع الملل المتقدمة في المعارف  
ثم ان وحدة اقيسة الطول التي كانت مستعملة قديما ليس لها في الطبيعة اصل  
ثابت يعول عليه في استعمال هذه الوحدة في سائر الازمنة والامكنة واخذوا  
قديما القدم والتواز على طول قامة وقدم من انسان طويل القامة ولكن  
حيث كان يندرج وجود شخصين متعدين في طول القدم والقامة لزم انهم  
لوقدوا مقدار القدم والتواز المتقدمين لتعذر عليهم ايجاد هذه الوحدة  
ثابتا مع مزيد الضبط والحقنة

ولاعن علماء القريج أن يقبسوا على سطح الارض المسافة التي بين القطب  
وخط الاستواء من الشمال الى الجنوب تابعين اتجاه خط من خطوط نصف  
التماراجروا هذه العملية النفيسة مع النجاح الذي عظم به شأن الطرق العلية  
والآلات الميكانيكية والمعارف والمواظبة وشجاعة مشاهير الرجال الذين  
شرعوا واستمروا على هذا العمل الجسيم

وذلك انهم بعد أن قوموا بطول المسافة المذكورة مع غاية الضبط الذي توصل  
اليه الصناعة فسجوه الى عشرة ملايين متساوية الاجزاء واخذوا احد هذه  
الاجزاء وجعلوه وحدة للطول ويسمونه مترا

والمتر يساوي بمقابلته للاقيسة القديمة ٣ اقدام و ١١ خطا و ٢٩٦  
من الف من خط اعني انه اقل من ٣ اقدام وقيراط  
فإذا لم يكن هناك الامساكات مختلفة قليلا وكانت لا تحتاج الى مزيد الضبط  
أمكن استعمال نوع واحد من الآحاد وترك الكسور الا ان هناك مسافات  
عديدة او اطوالا كثيرة ينبغي قياسها باقل من المتر وهذا من البديهيات  
فان هناك اشياء لم يبلغ طولها مترا واحدا وبناء على ذلك لزم تقسيم الوحدة  
الاصلية للاقيسة الى تقسيمات اولية وثانوية

وبذلك ظهرت إحدى الفوائد العظيمة الناشئة عن الطريقة الجديدة  
 ثم إن طريقة العد في باب العدية تكون بالآحاد والعشرات والمئات أو بأحاد  
 الألوف وهكذا فإن تبدأ بالآحاد من عشرة إلى عشرة أكبر منها إذا راعينا  
 تركيب الأرقام من اليمين إلى الشمال ومن عشرة إلى عشرة أصغر منها  
 إذا راعينا العكس أي من الشمال إلى اليمين  
 وهذه الطريقة مطابقة لطريقة الأقيسة الفرنسية الجديدة والآن سنبين أن يقال  
 إنها عين الطريقة الداخلة في ضرب الأقيسة الفرنسية وتقسيماتها الثانوية  
 وقد قسموا أولاً المتر إلى عشرة أجزاء وهي الديسمتر ثم قسموا الديسمتر  
 إلى عشرة أجزاء وهي عشر العشر أي مائة المتر وتسمى سنتيمتر ثم قسموا  
السنتيمتر إلى عشرة أجزاء وهي عشار السنتيمتر أي عشار المئات أعني جزءاً  
 من القسم المتر وتسمى مليمتر وهم جروا  
 وقد استلحقنا أن هناك أشياء لا يبلغ طولها مترافينا على ذلك ينبغي أن يكون  
 هناك آحاد صغيرة لقياس الأشياء الصغيرة الأبعاد والمسافات القصيرة  
 وآحاد كبيرة لقياس الأشياء الكبيرة الأبعاد والمسافات الطويلة  
 فمن ثم أخذوا طولاً يبلغ عشرة أمتار ليصنعوا منه القياس المسمى بالديكامتر  
 وطولاً مقداره عشرة ديكامترات أو مائة متر ليصنعوا منه القياس المسمى  
بالاكتومتر  
 وطولاً مقداره عشرة اكتوبرات أي مائة متر مكررة عشرة مرات أعني  
 ألف متر ليصنعوا منه القياس المسمى بالكيلومتر  
 وطولاً مقداره ألف متر مكرراً عشرة مرات أعني عشرة آلاف متر ليصنعوا  
 منه القياس المسمى بالميريومتر  
 وكل عشرة من الميريومتر تساوي درجة مئيتية من الأرض أي ١٠٠  
 جزء من البعد المحصور بين القطب وخط الاستواء المتيسر على خط من  
 خطوط نصف النهار  
 ودرجة الأرض العرضية تساوي عشرة من الميريومتر  
 والدقيقة تساوي كيلومتراً

والثانية تساوى ديكامترا

والثالثة تساوى دسمترا

والرابعة تساوى ملترا

فعلى ذلك ليست جميع الاقيسة المستعملة في طرق فرانساً وسكها  
وفي الاشغال الهينة الانواع واحداً من ابتداء ملتر بسيط الى الدورة الكاملة  
من الارض كمسبق موضعها في الدرس الثالث من الهندسة الذي تكلمنا فيه  
على الدائرة

وبذلك يظهر لك ما يترتب على هذه المطابقات العظيمة من مزيد الاختصار  
في كثير من عمليات الملاحظة والطبوغرافيا اى رسم الارض او الجغرافيا  
الممزوجة بارصاد فلكية

واعظم فوائد طريقة الاقيسة الجلبية هي سهولة جميع عمليات الحساب  
على عمارها انهما يمكنان بصنع اى طول من الميرامتر او الكيلومتر او من  
الأكومتر او الديكامتر او المتر على وجه بحيث يضع من الشمال  
الى اليمين جميع تلك الاعداد بعضها عقب بعض كالاتحاد والعشرات والمئات  
من عدد واحد

فعلى ذلك اذا كانت هذه الاسماء المأخوذة من اللغة اليونانية تشوش ذهن  
ويصعق حقلها وتعليقها فانه يمكن عدم الالتفات اليها بالكلية وراحة  
الذهن منها وترك التقطعها والاتبان بدلهما بعشرات المتر ومائة وهلم جرا  
لان ذلك لا يغير شيئاً من الطريقة السابقة

ثم ان كسور المتر وهي الدسمتر والسنتيمتر والميليمتر الخ تكتب كالكسور  
العشرية على عيى الامتار وتجرى عملياتها مع السهولة كعمليات الاعداد  
العصية (الا انه يوضع بينها وبين العصية شرطة تفصلها عنها مثلاً ٤ و ٥  
يعنى خمسة امتار واربعة اعشار من متر)

ومن المعلوم ان كثيراً من الناس استعملوا غير مرة الاقيسة القديمة ولم يراوا

يستعملونها

يستعملونها الى الآن مع انهم يعرفون ان تقسيم هذه الطريقة الخاطي عن  
الانتظام يشوش الذهن ويوقع الانسان في الحيرة والسأمة وهو مع ذلك  
عرضة للوقوع في الخطا فان التواز الذي قدره ستة اقدام والقدم الذي  
قدره اثنا عشر قيراطا والقيراط الذي قدره اثنا عشر خطا والخط الذي قدره  
اثنا عشر نقطة يتكون منها تقسيمات ثانوية لا تطابق بالكلية ترتيب اعداد  
الحسابات الاعشارية وهذه التقسيمات الثانوية المعروفة بالاجزاء الضلعية  
تستدعي عمليات صعبة يفرغ منها الاطفال لصعوبتها وصكك انت تستغرق  
في تعلمها عدة سنوات لتكامل مدوسعا بخلافها الآن فانه يمكن تعلمها  
للاطفال من ابتداء صغرهم في قليل من الزمن بحيث يمكنهم تطبيقها  
على الاقيسة الجديدة

وفوائد هذه الطريقة الجديدة توجد بعينها في انواع الاقيسة التي سنذكرها  
وقد كان يظهر ان هذه الطريقة يجب أن تنشر وتستعمل عند جميع الامم  
او عند الامة القرونساوية خاصة لما انها تعتبرها كالاتار المالية الان الاوامم  
الفاسدة وما يعرض من الصعوبات الوقتية منعت من ذلك مدة مديدة  
ثم ان المتر اصل لما عدها من اقيسة الطول الاخرى كما سبقت الاشارة اليه  
وهو ايضا اصل لسائر اقيسة السطوح والحجوم والاتصال وغير ذلك

### \*( بيان اقيسة السطوح )\*

اعلم ان الوحدة الاصلية لهذه الاقيسة هي المتر المربع  
والا وهو المربع الذي طوله عشر قمتار وعرضه كذلك فهو كاية من عشرة  
صفوف مربعة من عشرة امتار مربعة او مائة متر مربع ( كما هو مقرر  
في الدرس الرابع من الهندسة )

والا كثار هو المربع الذي طوله عشرة ارات وعرضه كذلك فهو عبارة  
عن عشرة صفوف مربعة من عشرة ارات مربعة او مائة اتر مربع ويستعمله  
القرونساوية بدلا عن القدان القديم كما انهم يستعملون الارعوض عن القصة  
القديمة

## \*(بيان اقيسة الاتساع)\*

التر للمكعب المسمى بالاستير هو وحدة الججوم والاتساع  
فالمكعب الذي يبلغ دسجترا واحدا من جميع جهاته اى الذى قدر دسجتر مكعب  
هو جزء من الف من المتر المكعب

ولاجل سهولة عمليات التجارة والقنون الميكانيكية صنعوا اوالى يبلغ داخلها  
دسجترا مكعبا وسموها لترآ واستعملوها فى قياس الموائع والجوامد من  
حبوب وتراب وغيرها

واما الاكثولتر فهو وعاء اكبر من الترمائة مرة او يحتوى على  
مائة لتر والاكتومتر هو قياس مائة متر

وبالنظر الى الكميات الصغيرة ينقسم المتر الى عشرة دسلترات او الى مائة  
سقتلر او الف مليلتر الخ كما ان المتر يحتوى على عشرة دسجترات او مائة  
سجتر او الف ملتر

ثم ان ما يوجد من المشاهدة التامة بين هذه التقسيمات الثانوية للاقيسة المتنوعة  
واسماها مقبول وملائم لا يقتضيه العقل ويسهل على كل انسان تذكر هذه  
الاسماء بمداولاتها

ولما لمع من نسبة الاقيسة الثلاثة التى فيها تقريبيا بالاقيسة الهندسية حيث  
انها تكفى فى قياس جميع ما تبص عنه الهندسة المحضة غير انه يلزم ان يضم اليها  
اقيسة اخرى تحتاجها العلوم والقنون الميكانيكية

## \*(بيان اقيسة الميكانيكا وهى الاتساع)\*

لجميع اجسام الارض ميل الى القرب من مركزها فولا المانع لقربها  
بان تسقط عليه ثمان الثقل هو القوة الكلية التى يميل بها الجسم الساكن الى  
السقوط على وجه الارض

فعلى هذا يكون الجسمين ثقل واحد اذا كانت قوتاهما التى يميلان بها الى السقوط  
جهة مركز الارض متساوية

ويمكن عانة ثقل الاجسام وتقوم بواسطة الآلات التى سيأتى بيانها وبواسطة  
ثلاث آلات يعرف هل الجسمين ثقل واحدا لا

فالغرام هو وحدة القياس الذي ينسب اليه ثقل جميع الاجسام  
والديكغرام هو ١٠ غرامات  
والاكتوغرام هو ١٠٠ غرام  
والكيلوغرام هو ١٠٠٠ غرام  
والمليغرام هو ١٠٠٠٠ غرام  
وهذه الاسماء من قبيل الكلمات المركبة الاصطلاحية المستعملة في الاقيسة  
العظيمة كالتر والقر وغيرهما فان كلا منهما مركب  
ويستعمل الكيلوغرام في وزن الاجسام التي يكون ثقلها مماثل لثقل الاشياء  
التي يمكن استعمالها بسهولة والقنطار المتر هو ١٠٠ كيلوغرام  
وما يعرف عند الملاحين بالننو (اي البرميل) هو ١٠٠٠ كيلوغرام  
واما الغرام وتسمياته الثانوية فيستعمل في وزن الاشياء الصغيرة كمواد  
الصياغة والكيميا والاجزائه وغير ذلك وينقسم الى عشرة دسغرامات  
ومائة سنتغرام واللف ملغرام  
ولاجل تطبيق صنع الاتصال على اقيسة الابعاد جعلوا مقياس الكيلوغرام  
ثقل دسمتر واحد مكعب او لتر من المياه الصافية الآتية الى كثافتها العظمى  
بواسطة هبوط درجة حرارتها على وجه لائق  
فعلى ذلك اذا كان لا يوجد في سائر بقاع الارض الا متر واحد او لتر  
واحد او استير واحد او كيلوغرام واحد فانه يمكن ايجاد جميع انواع  
الاقيسة الاخرى مع غاية الضبط والسهولة  
والقياس المستعمل في الفنون الذي لا ينبغي اهماله هو التقود  
فوحدة التقود هي القرنك وهو ينقسم الى عشرة اجزاء تسمى دسما والى  
مائة جزء تسمى شتيا والى الف جزء تسمى ملزما وكل خمسة فرنكات  
تساوي ربالا فرنساويا يسمى شنكو وكل ثلث اربعين من الشنكويساوي  
كيلوغراما واحدا وهذا هو الرابطة بين اقيسة التقود والاقيسة الجديدة  
(بيان قياس القوى في الميكانيكا بالتقود) \*



كما ان التقود تسد مسد المتبادر كذلك تسد مسد قياس القوى المستعملة  
في اشغال القنون

وقد قال المهندس موتغولبير الشهير اني لا اعرف من القوى الا القوة  
المستعملة بالاجرة قد جعل التقود قياسا للقوة المستعملة في تحصيل  
اي شئ كان

مثال ذلك رجل له درجة مامن القوة واستعملها في ثقل اي ثقل الى مسافة  
تبلغ مترا واعطى له في نظير ذلك فرنك واحد وآخر اقوى منه واشتغل عليه  
زمتا طويلا او كان اسرع منه ميرا ثقل ضعف الثقل المتقدم الى تلك المسافة  
بعينها واعطى له في نظير ذلك فرنكان فهذان الفرنكان يدلان على ان هذه  
القوة ضعف المتقدمة فهذا هو كيفية استعمال التقود قياسا للقوة

فاذا فرضنا الا<sup>ن</sup> ان ثالثا ثقل بواسطة آلة ما كالنقالة والعربة الصغيرة  
والجزارة الثقل المتقدم ثلاث مرات بدون ان يصرف من القوة اكثر من التي  
استعملها الرجل الاول الذي اخذ فرنكا واحدا في نظير ثقل هذا الثقل مرة  
واحدة الى المسافة المذكورة فان هذا الرجل النقال الذي استعمل الآلة  
ياخذ ثلاثة فرنكات مع احتمال انه استعمل قوة دون التي استعملها الاول  
الذي اخذ فرنكا واحدا فعلى ذلك لاجل أن تكون النتيجة واحدة ينبغي  
أن يصرف احدهما قوة ~~تكون~~ اكبر من القوة التي صرفها الآخر  
ثلاث مرات

وعلى ما ذهب اليه المهندس موتغولبير يلزم أن تكون اجرة الرجلين  
المتقدمين واحدة حيث انهما احدا عينا النتيجة المتقدمة وأدبا من القوة  
مقدارا واحدا وان كان احدهما صرف قوة اكبر من التي صرفها الآخر  
ثلاث مرات

هذا والذي يجب على الميكانيكي أن يتصدى اليه من المسائل هو تحقيق جميع  
الحركات والاتصالات واشغال القنون بحيث اذا اريد تحصيل تهيئة مفروضة  
لا يستعمل في ذلك من القوة الممكنة الا كمية قليلة فبناء على ذلك يتصل

بواسطة كمية معلومة من القوى اليدوية مبلغ عظيم وهو اجرة النتيجة المطلوبة  
فهذه هي المسئلة التي الغرض الاصل من ميكانيكا الفنون حلها  
ثم ان القوة لا تظهر بمجرد التعادل والتوازن المتحصل بواسطة الاتصال  
التي بها تقاس هذه القوة بل تظهر بالحركات التي يلزم قياس مدتها  
وانما لم تعرض الا ان الى تعريف الزمن والمدة لان تعريفهما لا يتضح به  
ما يتصوره كل انسان

وتستعمل الاجسام التي تقطع مسافات متساوية في ازمة متساوية قياسا  
للمدة غير انه ربما استعمل وجود مثل هذه الاجسام في الطبيعة وان كان  
قد شاهد الراصدون ان الشمس ترجع بالنسبة لكل من قط الارض الى  
مستور رأسي عند اتصاف الليل والنهار (والمستوى الرأسي هو المستوى  
الجانبي المتجه من الشمال الى الجنوب) وقسموا هذا الزمن الى اثني عشر جزءا  
وسموا بالساعات وقسموا الساعة الى ستين دقيقة والدقيقة الى ستين ثانية  
وهلم جرا

وهذا القياس كاف بالنسبة لما تدعو اليه الحاجة عادة في الحياة الاهلية  
والامور المترتبة بخلاف ما تدعو اليه حاجة العلوم المضبوطة كعلمي الفلك  
والجغرافيا وكذلك ما تدعو اليه حاجة بعض الفنون كفن الملاحة فانه غير كاف  
لكون ايام السنة ليست مساوية لبعضها

فيجعل الفلكي وحدة قياسه الطول المتوسط من جميع ايام السنة ثم يقسم  
هذه الايام الفلكية تقسيما ثانويا الى ساعات ودقائق وثوان وغير ذلك والزمن  
الذي يعرف بواسطة هذه الاقيسة الاخيرة يسمى بالزمن المتوسط

ولما ظهرت الطريقة الجديدة المتعلقة بالاتصال والاقيسة اختاروا لتقسيم  
السنة طريقة مصر واثينا التي هي تلة من تلة المصريين قسموا السنة  
الى اثني عشر شهرا والشمس الى ثلاثة اجزاء كل منها عشرة ايام وزادوا في كل سنة  
خمس ايام على ٣٦٠ يوما الحاصلة من ضرب ٣٦ في عشرة وزادوا  
كذلك في كل اربع سنين يوما محاسدا مكملا لا ايام السنة الرابعة فتكون السنة

على ذلك ٣٦٦ يوما وهي المسماة بالسنة الكبيسة  
 فكانت هذه الطريقة اربع مما تقرّر في زيج غرغوار من التقويم المخالف  
 الغريب الثاني من الاثني عشر شهرا التي منها ماهو ٢٨ يوما ومنها ماهو  
 ٢٩ ومنها ماهو ٣٠ ومنها ماهو ٣١ ومجموعها على ما في الزيج  
 المذكور ٥٢ اسبوعا الا ان جميع النصارى يميلون الى تقسيم  
 السنة بالاسبوع وايام البطالة والشغل المتعاقبة مع ان ذلك مخالف لقانون  
 العبادة حيث انهم كانوا يجعلون رؤس العشرات للذمة والبطالة واشهر  
 المواسم الدينية وعلى ما تقدم ينبغي ابقاء الايام على ما كانت عليه سابقا  
 ولا يلزم استعمال تقسيمها بالعشرات الا في التجارة والحسابات العامة  
 وحيث قد فليس هناك ما يمنع تلك الطريقة الاموانع قليلة  
 ولا يحفظ من تقسيم اليوم الى عشر ساعات والساعة الى مائة دقيقة والدقيقة  
 الى مائة ثانية الا تقسيم العشرات والاثني عشر شهرا المتساوية  
 وشم موانع كثيرة تمتع من شمول هذا الحكم الاجزاء الاخر من مجموع الاثقال  
 والاقيسة ولاجل جعل الموانع التي تمتع من اختيار هذه الطريقة على منوال  
 الحسابات يلزم أن نين خطاء المدبرين الذين يحملون الناس على اختيار  
 الطريقة المذكورة بمحض القوة والا كراهة فنقول انهم كانوا دائما يخشون  
 أن تذهب من بين ايديهم حكومتهم المضطربة التي لا ثبات لها فبادروا قبل  
 كل شيء باجراء ما ينبغي عمله مع الدولة  
 ومن العمليات الاولية تجديد سبك جميع النقود التي وحدتها القرنك الطوري  
 القديم واما النقود الجديدة فوحدتها القرنك الجديد وقد مكثوا اكثر من خمسين  
 عشر سنة في تجديد سبك نقود الفضة ولم يكمل الى الآن واما نقود الذهب  
 فانها لم تبلغ الحد المطلوب الى ذلك الوقت  
 وقد اخطأ مبتدعو طريقة الاقيسة الجديدة خطأ فاحشا حيث ابطوا عموم  
 استعمالها قبل أن يجتهدوا عدد كافيا من انواع الاقيسة فكان ذلك سببا  
 في تعذر اجراء هذا القانون بدون واسطة

فذلك صار التجار الذين الجأهم الضرورة الى أن يبيعوا بمقتضى الاقيسة الجديدة مجبورين على أن يبيعوا بمقتضى الاقيسة القديمة نظرا الى ترغيب المستترين فانهم يريدون ذراعا من الجوخ مثلا لامترا ورطلين من خبز لا كيلو غراما وزقامن خرلا تيرا فهذا ما كانوا يفعلونه غالبا لاجل تطبيق الاقيسة الجديدة على القديمة لاجل تحويل بعضها الى بعض

وقد تلاشى بعض هذه المضرات بتداول الازمان وصارت الآن الطريقة الجديدة التي تخص النقود معلومة عند اغلب اهالي مملكة فرنسا ومعمولا بها

وصار اهالي مدينتي باريس ونيوريس يستعملون الآن في قياس خشب الحريق الاستير دون غيره

واما الكيلوغرام فانه مستعمل عند كافة التجالين والتجار واما مقدار اللتر فهو معروف معرفة تامة عند الشغالين من جميع الطوائف لكونه قياسا للمواقع

ومع ذلك فهناك بعض استثنائات مضرة من اقيسة السعة وهي المكاييل يرجى زوالها

ولما تكلمنا على الجهالات والاهام القائمة ناسب أن نبين بعض معيوبات اخرى لاتعلق لها بأراء الناس وانما هي ناشئة من طبيعة الاشياء فيستبطن من ذلك البيان بعض معارف في الطرق التي يتم بها قبول طريقة الاقيسة الجديدة والعمل بها فنقول

فما يشق على الانسان أن يتولا طريقة الاقيسة المستعملة منذ زمن طويل فان ضرر مبادئ الاستقراء اكبر من فدها واهي الصعوبات المذكورة وهي ان جميع الاشياء المستعملة في الفنون وعند الناس كالات الكبيرة والصغيرة ومواد التجارة والمنقولات والعمارات تتركب من الاصول التي عدتها التجربة والبراهين والحساب لتحمين الابعاد والاتصال والججوم حتى ان الحافظة عدت شيئا فشيئا الاعداد الدالة على الججوم والاتصال والابعاد

المتقدمة المنسوبة الى وحدة القياس فاذا كان الصانع لا تقبى معارفه  
من انوار العلوم كان علمه مقصورا على المعرفة المحلية المتعلقة بمقادير كل نوع  
بحيث اذا تغيرت وحدة القياس المعهودة لم صارت معرفته العددية مقبولة  
بالكلية واذا اراد اخذ قياس بعد صغيرا لم تحويلات وحسابات وضياح  
فمن وزيادة تعب ولكن الكسل عند هؤلاء الناس بمنزلة الحماى الفصح  
مع ان الواقع خلافه فان تصوراتنا لا تخرج من اللغة المستعملة عند نابل  
اذا تعلمنا لغة اخرى فانه لا يمكن أن تتبع ما يدولنا فيها من التصورات  
التعاقبة ولا تفضلها وتسايل بينها زمانا طويلا بدون أن تراجع لغتنا الاصلية  
مع الادوار والتعلل ولا شك ان هذه المعروضة ظهرت بالتجربة لاعتقن الناس  
وبالجملة قد يوجد من ذلك عمليات تتعلق بقولنا وذلك اننا اذا استعملنا  
وحدة القياس مرارا فانها ترسخ بقوة هذا الاستعمال في اذهاننا بمعنى  
اننا نرى في الفراغ مقدار هذه الوحدة الحقيق ونعرف كيفية تطبيقه  
على الاشياء التي تصور صورتها فاكساب هذه المعرفة حيث نؤمن اعظم  
التفدمات في ممارسة الفنون حيث يصير بها النظر هندسيا ويتعود  
على العمل المضبوط وبذلك يكون في غاية الكمال

ومما هو واقع الآن انك اذا ازلت من يعرف اى نوع من الاقيسة بتغيير  
أحاديثه فان كان من الناس المعتادين اى كيفية الرجال الذين لم يخرجوا  
عن العادة ضاعت عنه معرفة الامتدادات بحيث اذا اطلع على طول القدم  
ظن انه يساوى طول ثلاثة اقدام وربما زاد عليه قيراطا واعتقد صحة هذا  
الطول ومع ذلك فلا يتصوره كمتصور الوحدة ولا يعرف كيفية تطبيقه  
على الاشياء حتى يحولها الى قياسه ولا يستعمل المتر وتسمياته الثانوية  
الا اذا عرف من الاحدام مثلا ما يلفه البعد الذى يظن انه مناسب لشيئ  
من الاشياء ثم يرى ما يساويه هذه اقدام من الامتار ولا يفتنى ما في ذلك  
من المشقة والتطويل ولا يرب انه اذا استمر من لفريضة جيدة على هذا العمل  
مدة عديدة فان ذلك يحدث عنه اقيسة جديدة ولكن قلا يوجد من الناس

من يبيع عاجلا بأجل جيد ولو كان قريب الحصول جدا  
وقد اسلفنا آتفا الكيفية المهمة التي يستعملها العقل في عمليات القنون  
ولما كان الناس عادة يميلون الى الاشياء البسيطة السهلة اجتهدوا في جعل  
جميع الاشياء على نسبة اولية بينها وبين الاقيسة المستعملة وفي التعبير  
بالاعداد الصحيحة عن الابعاد المستعملة عادة في الصناعة ويؤخذ من ذلك  
ان الانسان الذي لم يحسب مدة حياته قوة قطعة صغيرة من الحديد او الحجارة  
او الاخشاب لا يعرف هل مقدار قوتها يساوي ١٢ قيراطا او ١٢  
قيراطا و  $\frac{1}{4}$  او ١٢ قيراطا و  $\frac{1}{2}$  او ١٢ قيراطا فكيف يمكنه  
أن يعرف بمجرد النظر مناسبة اى بعد باقل من  $\frac{1}{12}$  تقريبا وحيث ان هذا  
التحديد المضبوط يفوق ما اعتاده عقله من العمليات لا يمكنه الوصول اليه  
فعلى ذلك ينبغي أن يكون قياس القطعة التي يستعملها قديما محكما لانه اصح  
جميع الاقيسة لكونه ابسطها وينقل هذا القياس غالباً من المعلم الى المتعلم  
وبداول الايام تصير الاشياء كلها متوارثة في عمليات الصناعة والعوائد  
الجارية بين الناس لكن اذا تغيرت طريقة الاقيسة فان الاعداد الصحيحة  
في الطريقة الاولى لا تكون صحيحة في الثانية وبالجملة اذا كان الانسان يريد  
قدما من الطول لاجل قياس قطعة معه وكان قد رأى ان اياه او معلمه فرض  
لقياسها قديما فكيف يطلب منه ان يفرض لها قياسا آخر غير متر واحد منقسم  
الى ثلاثة احدى عشر من مائة واربعة واربعين من القدم ومائتين  
وسبعة وثمانين من الف من مائة واربعة واربعين منه اى من القدم المذكور  
قديما على ذلك اذا قاله بعض العارفين بالابعاد الحقيقية للقطعة المطلوب  
قياسها مثلاً لا يصح أن يكون القياس المقروض لهذا القطعة اثني عشر قيراطا  
محولة الى امتار بل بحسب ما ظهر لي من العمليات المتبسة من النظريات  
يكون ثلاثة دسمترات او ثلاثة دسمترات ونصفا او نحو ذلك يظن ان قواعد هذه  
تغيرت بالكلية

ومن المؤلفين الذين ذكروا في كتبهم الاقيسة الجديدة من بين مقادير الاشياء

بهذه الأقيسة وأضاف إليها نفس تلك المقادير بالأقيسة القديمة وحيث ان هذه الأقيسة القديمة مستعملة كثيرا عند معظم القراء تبع من ذلك ان المتولين بمطالعة تلك الكتب الذين يقتصرون على ما يكون من الاشياء قليل التعب لا يميلون الا الى الأقيسة القديمة دون غيرها

ويظهر لنا سبب آخر جدير بالذكر هنا وحاصله انه حيث لم يكن ادراك الحافظة الا بمجرد تخيل لم ضبط المقادير المذكورة في القصة المستعملة عندنا بكثرة ولجل هذا السبب رأينا كثيرا من الناس من يعتقدان ضبط الأقيسة الجديدة صعب من ضبط المقادير المتساوية المبينة بالعنوان القديم بل اتفقت كلمتهم على تأييد هذا التفضيل وكما كانت المقادير مبنية باعداد بسيطة او صحيحة من الأقيسة القديمة نشأ من الأقيسة الجديدة التي تكاد تكون صماء مع الأقيسة الاخرى القديمة اعداد صعبة وربما كانت المتعاقبة التي يلجأ إليها القارئ بين هذه المقادير المتشابهة من بعضها معقدة لافزع الطريقتين

ومن المؤلفين من اقتصر في تأليفه على الأقيسة الجديدة دون غيرها الا انهم لم يراوا في الغالب يتدنون بسلطهم من المؤلفين في كونهم يعملون جميع العمليات الاصلية على مقتضى الأقيسة القديمة فتنشأ عن ذلك انهم عوضا عن أن يتوصل معهم من الأقيسة الجديدة اعداد صحيحة لم يتوصل معهم الا كسور وصلوها الى درجات تقريبية لا جدوى لها لكونهم تجاوزوا حد الصحة في كل من انواع العمليات

فعلى ذلك كان يلزم في جميع الفنون عند اختراع الأقيسة الجديدة عمل جداول جديدة تكون صحيحة الاعداد على مقتضى الأقيسة المذكورة لانه يحدث عنها المعلومات والخواص الضرورية التي تكون المعلومات فيها نتائج لازمة فاذن تكون منافع اختبار الطريقة الجديدة كثيرة ومضارة قليلة يمكن ازالتها في قليل من الزمن

وينبغي أن نذكر هذه التصورات شرحا موضحا فنقول انما يمكن هذا كله متبعة في صناعة من الصناعات لزم ان الفنون التي

تركب هي منها تكون مرتبطة ببعضها ارتباطا كلياً وقل من هذه الفنون ما لا يستمد من غيره آلات ومواد أولية بل منها ما الغرض الاصل منه كناية هذه الحاجة وتلك الفنون هي التي ينبغي اعتبارها ومراعاتها دون غيرها والتي يجب ادخال طريقة الاقيسة الجديدة فيها بجميع ما يمكن من الوسائط مع تحويل مائر المقادير ومائر ابعاد محصولاتها الى اعداد صحيحة بالنسبة الى تلك الاقيسة فعلى ذلك كان يلزم اما أن تكسر انواع الصب والمساحب والقوالب او تنتظرها حتى تنكسر بنفسها وتعملها ثانياً على موجب طريقة الاقيسة الجديدة ثم يلزم ان الصنائع لا يعملونها الا اذا وفوا بجميع الشروط اللازمة وقد يكون ذلك في الاقنعة مثلاً بأن يفرض لها متر واحد او ٥ او ٦ او ٧ ديمترات من العرض وبالجملة فكان على من ادخل طريقة الاقيسة الجديدة في الفنون أن يمارس احدى تفاصيل تلك الفنون ويعانها مع التؤدة والتأني ولا شك ان ذلك فيه من المشقة ما لا يزيد عليه ومنفعته تفوق روقه لكن يكفي من تصدى اليه من المؤلفين النجاح فيه وبلوغ المرام وقصصيل الشرف التام

ولنترع الآن في ذكر امثلة صحيحة توضح ما سبق من الامور العامة فنقول اذا كانت الاقيسة الجديدة مختارة في بعض الجهات فان ذلك انما يكون حقيقياً في اشغال المصالح العامة لان المتوط بهار جال لهم اليد الطولى في المعارف وحيث ان هؤلاء الرجال بالنظر لصناعتهم لهم ارتباط بالحكومة التي يأخذون منها ادوات الهندسة كما كانوا بالضرورة هم الذين يحتجرون وينشرون رسوم تلك الحكومة المتعلقة بالفنون ولنجست فيما نحن بصدده عن الدرجة التي وصلوا اليها في تلك الرسوم فنقول

لما كان مهندسو الجهادية والقناطر والجسور مجبورين بطبيعة اشغالهم وخدمهم على عمل جملة عظيمة من الحسابات وتحقيقها استحسنوا أن يتركوا من الطرق ما تكون به الحسابات صعبة وغير منتظمة ليسانروا بالاصطلاح على طريقة اخرى سهلة منتظمة كطريقة الاقيسة الاعشارية فخذوا



جدول مقادير اشغالهم بالاقبسة الجديدة ولم يعرفوا غيرها  
وقد تقدمت الهندسة البحرية في هذا المعنى تقدماً بطياً بالكيفية فانه ظهر  
مع المشقة بعد اربع سنوات جدول ابعاد الاخشاب بالاقبسة الجديدة  
ومع ما يوجد في هذه العملية الاولى من العيوب التي لاتعد ولا تحصى  
مكتنويل العمل جدا في تكعيب كمية عظيمة من الاخشاب اللازمة  
اعمار السفن اذا اقتضى الحال تكعيبها بموجب الاقدام والقراريط ونحو ذلك  
بمخلاف التكهيبات المتريه لظهور سهولتها فالأخشاب الواردة لا تقاس  
الا بالاقبسة الجديدة في ميناء الدولة لكن يلزم لاجل تطبيق الاقبسة الجديدة  
على فن عمارة السفن بذل المهمة والشغل الجسيم ويلزم ايضا عمل قوائم  
تنضج مصاريق السفن والقراقيط وسائر انواع السفن باعداد صحيحة  
مع بيان الابعاد المحولة لكل قطعة من اجزاء السفينة على وجه التفصيل  
وبالجملة فيلزم نشر هذا الشغل الجسيم في جميع القنون البحرية وهي التي  
تكون محصولاتها عند المهندس اصلا لاشغاله كالصواري والجمال والبكر  
والشراعات وغير ذلك وحيث انهم لم يجروا هذه العمليات الاولى اصلا  
ترتب على ذلك انهم استعملوا المتر في الميناء الفرنسية زمانا طويلا ثم قهوه  
تقسيا ثانويا الى اقدام وصار العمل على تلك الاقدام وهذه الاقبسة ذات  
الوجهين هي عين ما في الكتب المتقدمة قريبا التي ذكرت فيها الاقبسة مثنى  
على وجه بحيث لا يراجع فيها الا الاقبسة القديمة

وامكن لما صارت السفن والقبائل تحت ادارة الملتزم كليرمونت نويز  
وكان من اقدم تلامذة مدرسة المهندسخانة الفرنسية حصل في ذلك تغيير  
عظيم وذلك انه صدر عنه امر بان من الآن فصاعدا لا ينبغي أن تستعمل  
الاقبسة القديمة في ميناء فرنسا ولا ترساناتها ولا في القبائل وحكم  
بابطال الاقبسة التي تدل من جهة على تقسيمات الاقبسة القديمة ومن اخرى  
على تقسيمات الاقبسة الجديدة فانظر الى هذه المنافع البعيدة المحققة الناشئة  
عن المدارس العظيمة التي يكتب منها الشبان محارف منسقة معينة لكونها

نوتر فيم تأثير ايرداد على عمر السنين حتى يكون فيهم استعداد الحكم بعد تقيم  
دروسهم هذه المثابة ويحصل بهم قمع لم يكن يعرف قبل ذلك  
ومن المصالح العامة ما يكون فيه تأثير الموانع الاتية اقوى من تأثيرها  
في غيره وذلك ان الاصل الذي يتعلق به ماعداء من الاصول في فن الطوبجية  
هو قتل الكلة اوعيارها واما اقيسة المدافع وجبضاتاتها وذخيرتها وعرباتها  
فذلك كله نتيجة ضرورية من ذلك الاصل غير ان اقبال الكلال المينة باعداد  
محصية بالنسبة للاقيسة القديمة لا تكون باقية على حالها بالنسبة للاقيسة  
الجديدة وعليه فانه تسمى مثلا المدافع التي عيارها ٢٤ وطلا من الرصاص  
فلا يصح أن يقال لها مدافع من التي عيارها ١٢ كيلوغراما لان ذلك  
من قبيل الخطأ فان ١٢ كيلوغراما اكبر من ٢٤ وطلا ولا يصح ايضا  
أن تسمى بالمدافع التي عيارها ١١ كيلوغراما لان ذلك من قبيل الخطأ  
ايضا فان ١١ كيلوغراما اصغر من ٢٤ وطلا فاذا سميت بمدافع  
عيارها ١١ او ١٢ كيلوغراما كانت هذه التسمية فاسدة وعليه  
فتكون تسمية ذخيرتها وجميع معلوماتها المرتبة بموجب اقبال الكلة  
فاسدة ايضا وهذه المشكلات محققة لا خفاء فيها فمن المعلوم ان صناعة  
المدافع والكلل مع الاتقان والسرعة لا تمتنع من زيادة ثقل الكلل فربما تجاوز  
هذا الثقل عدد الارطال المبين لعيارها وبذلك يقرب العدد المذكور للمبين  
لعيار الابوس والمدافع من نصف الكيلوغرامات

ولما ظهرت طريقة الاقيسة الجديدة لم يظهر في فن الطوبجية من الاحوال  
مما يحصل فيه قابلية لان يحدث فيه تغيير عام فاذا اخذت الطريقة العسكرية  
الفرجية في اتساع جديد ولزم لها انشاء معامل ومسابك لم تكن موجودة  
في الاقيسة القديمة التي كانت آلاتها اذذاك غير معروفة في المصالح  
لانساع الانتقال وتقدمها على وجه لم يكن قبل ذلك فلم لا تصنع معامل  
جديدة بموجب معايير ٤ انصاف كيلوغرامات او ٦ او ٨ الخ  
هؤذا عن أن تصنع بموجب معايير ٤ ارطال او ٦ او ٨ الخ فان

صنعها بموجب الماير الاولى يترتب عليه في اسرع وقت كثرة عدد المدافع الجديدة حتى لا تمكن المضاهاة بينها وبين المدافع القديمة ويحصل من الاعتناء بهذا الامر ابطال الاقيسة القديمة وخروجها عن الخدمة العسكرية بالكلية وبذلك يحصل تغير عظيم في الاقيسة بدون أن ينشأ عنه تلف ولا بذل جهد فانا كان يخشى من كثرة المعايير الوقية التي هي نتيجة هذا الابتداع فلا شك انه يمكن أن تجعل اسلحة بعض الحصون وبعض الجيوش من المدافع القديمة واسلحة الاخر من الجديدة لان هذه التغيرات تستدعي ضرورة قتل بعض المدافع غير انه عند قتل المدافع القديمة من الحصون المأمونة الى الحصون المحرقة والايات العساكر المتقلة وكذلك عند قتل مدافع المعامل الجديدة الى الحواصل والجنحات والحصون التي تكون قليلة الخطر وتقل المعايير القديمة البحرية دائما الى السفن والمحاظلة بالجديدة على السواحل ثم على ججائنات الميناء العظيمة يحدث من التأثير الطبيعي للعرب تغير لا يعد غريبا الا عند ذوى العقول القاصرة

فان قيل هل هذا التغير يمكن الآن قلنا نعم لا مانع منه فان هذه الوسائط بعضها توصل على ممر الازمان الى نتائج واحدة ويكفي في ذلك تغير قطر آلة قنب المدافع تغييرا لا تقا وما يفي بتغير نفسه

وبالجمله فلا مانع من ادخال اقيسة الامتداد الجديدة في فن الطوبجية سواء حصل تغييرا ولم يحصل ولا ارتباط لهذه الاقيسة بصنع الاتقال وليست معايير المدافع التي قدرها ٤ ارباط او ٦ او ٨ الخ مبنية باعداد صحيحة من القاريط كما انها لم تكن بالستمر وكذلك بعض قاييس اخرى وربما كانت هذه العملية عظيمة اذا كان احد ضباط هذه الاسلحة الشهيرة يوم الاقيسة القديمة الثابتة بالممارسة كالميكانيكي والمهندس ويحولها الى الاقيسة الجديدة باعداد بسيطة فان ذلك لا يخلو عن فائدة ولا شك ان هذه التقدّمات هي نتيجة هذا المشروع النفيس ويتناول الازمان والفوائد الطبيعية التي تحدث عن هذا الشغل فخير جميع الجيوش على اختيار الاقيسة المذكورة ولا بد انه فيما بعد

يترب على حصة المعايير تقدم في اشغال فن الطوبجية  
فاذا استعملت الاقيسة الجديدة في المصالح العامة وصارت مقبولة فيها كان لها  
بذلك دخل في بقية الاشغال العامة وجميع القنون المدنية المرتبطة بها ارتباطا  
ضروريا وهي مجموع القنون الرياضية تقريرا وقد كانت مستعملة قبل ذلك  
في فنون الكيمياء مع الفائدة التامة فان معظم من مارسوا اشغال هذه القنون  
المتنوعة كانوا ينشرون ما اكتسبوه من المعارف شيئا فشيئا وبحاول الايام  
تزدل الموانع الاخرى  
ولما فرغنا من الكلام على ما يترب على التخيير الحاصل في مقدار الاقيسة  
من الصعوبات وجب الآن أن نشرع في ذكر صعوبات تغيير العنوان  
ولتذكرها في مبادئ هذا الدرس فنقول

\*( الدرس الثاني ) \*

في بيان ما ينبغي من الاقيسة وفي قوانين التصرف الاولى وتطبيقها  
على الآلات

قد تقدم ما يقضى بحصة الادلة التي بها اختيرت العناوين المستنبطة من القنات  
القديمة وقد كانت هذه الادلة في غاية الدقة والعموض بحيث لم يدركها جم صغير  
من الناس حتى قالوا فيما بينهم لما اختاروا هذه الالمام التي لا يعلم تأويلها  
الاجله ابتداء لراصفون في العلم لم يكنهم ما يحدث عن كل تغيير يحصل في مقدار  
الاقيسة من المشكلات القوية مع قطع النظر عما يتولد عن العناوين الجديدة  
من الموانع وهل مثل هذه الاصطلاحات لكافة الناس بل لا مانع انه كلما سلك  
الانسان في التعبير عن المكرر وفاحشه بالفاظ مركبة من كلمتين دالتين على نوع  
الوحدة واختصارها طريق الدقة والعموض كانت هذه الالفاظ القبر الجلية  
اسرع الى النسيان وعدم الرسوخ في الذهن فيصطلح عليه دائما هذه الالفاظ  
الكثيرة المنتهية بكلمة واحدة نحو ملجتر وستتر ودستتر ولكن من ذا الذي  
يرى ان مثل هذه الاعترافات الواهية تظهر على الحقيقة والصواب في الولايات  
التي ينبغي لها المباهاة والتفاخر بوضع قواعد الاقيسة المستحسنة العظيمة

وإذا لم نبذل الجهد في تأييد ما ذهبنا اليه في شأن الاقيسة حتى تكون مقبولة  
 عند جميع الملل فهل ما عدنا من الملل يؤيد هذا المذهب الذي لا ينسب اليه  
 هذا ولا مانع أن نضيف الى تلك الأدلة التي لا يرجحها الاقليل من ارباب  
 العقول هذه الأدلة وهي انك اذا لم تغير اسم الاقيسة التي تركتها فكيف تميز  
 المقادير الميينة أولا بالاقيسة القديمة ثم بالاقيسة الجديدة وهل يحصل ذلك  
 الا بواسطة كتابة اقيسة قديمة واقيسة جديدة دائما ولكن الكسل يهت الناس  
 على الاختصار على انصاف الاسماء الواجزة المنالة على الاقيسة فانك ترى  
 بعض تجار القربج اجتنابا بالعمل المشقة في النطق بجميع حروف كيلوغرام  
 مثلا يقتصرون على صدرها فيقولون كيلو فعلى ذلك لو سلخوا هذا المسلك  
 في الكيلوتر والكيلومتر لقالوا فيها ايضا كيلو وبذلك لا يعرفون ما ارادوه  
 بهذه الكلمة واما نحن معاشر الرياضيين فكلنا منقاد لابس فيه بحيث  
 لا يعوقنا عن المرام مثل هذا الالتباس الهين فيكتفى بحقتنا باطلاق اسم  
 القدم على القدم القديم او ثلث المتر تقريبا ومن هنا يقع خلطنا فيما اوتعنا فيه  
 اقيسة سلفنا غالبا من الحيوة وعدم الوقوف على الحقيقة مثال ذلك استعمالهم  
 لفظة علوة التي هي على اربعة انواع بدون أن يميزوا المراد من تلك الانواع  
 فاننا لا ندري بايها قدرت المسافات التي تراهها في كتبهم فلهذا هو الغرض  
 الذي تصدينا اليه وفاء بما يجب علينا لخلقنا وكيف يصح ان الاسماء المصطلح عليها  
 في علم من العلوم يعسر حفظها وثباتها في الذهن اذا كانت مركبة من خمس  
 عشرة كلمة فصاعدا وليس اتانود المبالغة في صعوبة مثل ذلك حتى تقضربانه  
 من قبيل المعجز الذي لا يارى ولا يغلب وهل ينكر ان تقدم العلوم منذ قرن كان  
 سببا في استعمال كثير من الاصطلاحات الماخوذة من اللغة اليونانية  
 وادخالها في العرف الخاص والعام فمن ذا الذي لا يعرف البارومتر والترمومتر  
 وكيف يسمى خط هذين الاسمين دون الكيلومتر مثلا  
 وهل ثم من الصبيان من لا يحفظ عدد قاسمات معينة مثل كسوراما وديوراما  
 وبانوراما وچوراما ومتبجاغورى ويعرفها بمدلولاتها حق المعرفة

فأوجه صعوبات متر ودمتر ونحوهما إلا أنها لا تدل إلا على الصور  
والظلال القابلة للتغير القريبة الزوال من ذهن بخلاف المتر وفروعه فإنها  
تدل دائما على الأطوال المادية التي يمكن تناولها باليد ومساها وسوحها بمجرد  
الوقوف عليها بحيث لا يعتريا بعد ذلك تغير ولا زوال ولنعترف الآن أننا قد  
اتهما كما واعتنا بما لا يجدي قسما من أمور اللهو واللعب تسكاسل عن  
الانفصات إلى ما لا يهتمه في حاجتنا الضرورية

ولاحاجة إلى البحث عن أسماء مهمة اجنبية من الفن فهي مهمة الحفاظ  
حيث يوجد إلى الآن الفاظ كثيرة مصطلح عليها في الكيمياء عند جميع القريج  
فإن بعض من لا يقول عليهم من أرباب العقاقير والجراحين الذين في الأرياف  
لم يزلوا إلى الآن يعرفون أصول هذه الألفاظ ومع ذلك فلا وهمل الكيمائيون  
من الفرنسيين الألفاظ العلمية النفيسة ليسل تناولها على أرباب العقاقير  
ومن يدعى معرفة الجراحة من جراحى الأرياف وكذلك لوسلك هذا المسلك  
أهل النجس وإيطاليا والآنكلز واصطلموا على الفاظ توافق لغاتهم  
تنوعت الاصطلاحات العلمية التي من شأنها الوحدة إلى أنواع عديدة متبينة  
بعضها للكم شرعوا في مشروعات عمودة حيث اصطلموا وحروا ما لا يحصى  
من الألفاظ الاصطلاحية في ظرف عشر سنوات صارت هذه الألفاظ  
مقبولة مستعملة عند سائر الأمم التي تمارس العلوم الطبيعية وما يجب  
التنبية عليه زيادة على ذلك أن هؤلاء العلماء المشغرين من ساعد الجرد  
والاجتهاد أخذون في تجديد علومهم كلها بدون التفات إلى ما يبطهم  
عن ذلك وعليه فيلزم تجديد علم الأقيسة بسائر أنواعه وفروعه وهذا هو  
الغرض من كلامنا سابقا ولا حقا

وكأن الكيمائيين لما اهتموا تأتيا بجميع الحوادث ليبتدوا مع الضبط نسب  
القواعد الناشئة عنها تلك الحوادث كان ذلك وسيلة إلى امتكشافات كثيرة  
جدا كذلك إذا صنع الإنسان جداول مضبوطة تحتوي على سائر أنواع  
المقادير التي تكون عبارة عن معلومات الفنون مكان ذلك أيضا واسطة

في وصول العلم الى درجيات الكمال وتطبيق النعميات على قواعد حسابية لم يكن جرى فيها ذلك من قبل فتكون هذه الاشغال مفناً لتقدمات المستقبل

**\*( بيان قوانين التحرك الاولى ) \***

يظهر من رصد الاجسام المتحركة على الارض ومن مجموع الكواكب السيارة عدة قواعد اصلية ينبغي ذكرها هنا لينتفع عليها البيان الاتي فتقول (اولا) اذا لم يعرض الجسم الساكن شيء يحركه فانه يستقر على سكونه لانه في هذه الحالة لا مقتضى لحركته في جهة ما فعلى ذلك اذا انصف الجسم بالحركة بعد السكون فلا بد أن يكون قد عرض له سبب او جبر فحركه الى احدى الجهات وهذا العارض هو المسمى بالقوة والغرض الاصل من علم الميكانيكا هو معرفة كيفية تأثير القوى في الاجسام المنفردة او المرتبطة ببعضها بالنظر لاوراعها وصورها

(ثانيا) اذا اخذ جسم في التحرك في اتجاه ما بسرعة ما فاذا لم يكن هناك ما يمنع تحركه استمر على الحركة في هذا الاتجاه مع السرعة المذكورة بمعنى انه يقطع مسافات متساوية في ازمة متساوية وهذا ما يسمى بالتحرك المنتظم او المنتسق

ومنى غير هذا الجسم اتجاهه او سرعته فان التجربة تدل على ان هذا التغير حاصل من تأثير موافق او مخالف واقع من قوة جديدة

وكذلك اذا كان الجسم الجامد العادم للحركة غير قابل للتحرك فانه يعلم من ذلك انه لا يقبل الحركة بجمال فعل ذلك اذا كان الجسم الجامد متحركاً فانه يستمر على حركته بمعنى انه يقطع في اتجاه واحد مسافات متساوية في زمن واحد \* والسرعة هي النسبة التي بين المسافة المقطوعة والزمن

مثلا اذا جعلت الدقيقة وحدة الزمن والتروخلة الطول يقال ان الجسم الذي يقطع متراً في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ١ والجسم الذي يقطع مترين في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ٢ والجسم الذي يقطع ثلاثة امتار في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ٣ وهكذا

وقد دلت التجربة ايضا على دعوى اخرى شهيرة جدا وهي انه يحدث عن قوتين واقعتين على جسم واحد في اتجاه واحد (كفرعين مربوطين في قطار واحد بلتر عربتمثلا) عين التأثير الحادث من قوة واحدة مساوية لمجموع هاتين القوتين واقعة على الجسم المذكور في اتجاه واحد ايضا وهذه القوة هي التي يطلق عليها اسم المحصلة لانها متصلة من قوتين اخريين بيمين المركبتين اولاه يتصل منها عين النتيجة للمحصلة من هاتين المركبتين واما في صورة العكس وهي ما اذا كان قوتان واقعتين على جسم واحد في اتجاه واحد لكن في جهتين متضادتين فان الجسم يتحرك كالمكان متدفعاً بقوة واحدة محصلة مساوية لقاضل القوتين المركبتين ومتجهة الى جهة كبراهما

وعلى ذلك يشاهدان العربيجية عند الهبوط بالسرعة يحلون القوس من أمام العربية ويربطونه خلفها ليعجزها القهقري وفي هذه الصورة لا تكون القوة المحركة الا لقوة قوس آخر يجزها الى الامام ناقصة قوة القوس الذي يجزها الى خلف عوضا عن أن تكون هذه القوة اعني المحركة قوة قوسين

\*( بيان التوازن ) \*

اذا كانت القوة الجاذبة الى جهة الخلف مساوية لقوة الجاذبة الى جهة الامام فان فاضلهما يكون صفرا ولا يتحرك الجسم الى جهة احدهما ولا الى جهة الاخرى ومن ذلك يحدث ما يسجي بالتوازن اعني بالسكون القهقري وهي حالة مخالفة للسكون الطبيعي الذي يكون باقيا على حالة واحدة ما لم يؤثر في الجسم قوة متغيرة على التحرك

فانما كانت محصلة عدة قوى يضافها قوة جديدة مساوية لها ومتجهة الى جهة مضادة لجهتها فانه يحدث عن ذلك توازن وهذه قاعدة شهيرة جيدة تسوغ ضم المسائل التي يكون القوس منها البعث عن النتائج التي يحدث بها التحرك الى مسائل التوازن

وعوضا عن اعتبار قوتين مؤثرتين دون غيرهما في اتجاه واحد يمكن



اعتبار ٣ او ٤ او ٥ الخ او عند ما من القوى وحيتئذ يلزم لاجل  
تحصيل المحصلة امران احدهما اخذ مجموع سائر القوى التي تجذب او تدفع  
الى جهة الامام ثانيهما اخذ مجموع سائر القوى التي تجذب او تدفع الى جهة  
الخلف وبذلك يتحرك الجسم في جهة المجموع الاكبر كما يكون مدفوعا  
او يجذوبا بقوة واحدة مساوية لتفاضل هذين المجموعين

(وانفرض مثلا عرب بهل مجرورة بثمانية افراس في قطار واحد في كانت جميع  
هذه الافراس مربوطة كلها جهة الامام فان العرب تكون مجرورة بقوة فرس  
واحد مساوية لقوة الافراس الثمانية ثم اذا حل العربي ثلاثة من هذه  
الافراس مثلا وربطها خلف العربية لتجربها التهقير فان التحرك الكلي  
يكون أولا عين ما اذا كان هنالك فرس واحد مربوط في جهة الامام قوته  
مساوية لقوة الافراس الخمسة وفرس آخر مربوط في جهة الخلف قوته  
مساوية لقوة الافراس الثلاثة المذكورة وثانياً يكون مساويا ايضا  
للتحرك الحادث من فرس واحد قوته مساوية لتفاضل الافراس الخمسة  
المربوطة في جهة الامام والثلاثة المربوطة في جهة الخلف وهذا التحرك  
بالضرورة يكون واقعا في جهة خمسة افراس اذا كانت قوتها متساوية)

وما ينبغي حظه والاهتمام به قاعدة ثالثة وهي ان لازم قوة ما لتحرك جسم  
بسرعة ما اعني لنقله الى مسافة معلومة في زمن معلوم فتصف هذه القوة  
لا يتقل الجسم المذكور في هذا الزمن الا الى نصف المسافة المذكورة  
ونقلها لا يتقل الا الى ثلثها او ربعها لا يتقل الا الى ربعها وهكذا دائما مع تناسب  
واحد

وكذلك في صورة العكس وهي ما اذا كانت مدة الزمن ثابتة بالقرص فان  
ضعف القوة ينقل الجسم المتقدم الى ضعف المسافة المتقدمة وثلاثة امثال  
هذه القوة تنقلها الى ثلاثة امثال المسافة واربعة امثالها تنقلها الى اربعة امثالها  
وهلم جرا

فاذا بقيت القوة ثابتة وتغير جسم الجسم نشأ عن ذلك ما سنذكره

وهو انه في مدة هذا الزمن تنقل القوة الثابتة ضعف الجسم الى نصف المسافة وتنقل ثلاثة امثال الجسم الى ثلث المسافة واربعة امثال الجسم الى ربعها وهكذا وكذلك تنقل القوة الثابتة نصف الجسم الى ضعف المسافة وثلاثة الى ثلاثة امثالها وربعة الى اربعة امثالها في نسبة واحدة دائما

ويؤخذ من ذلك ان المجسمات الكبيرة تصعب في التحرك لمن المجسمات الصغيرة وهذه المقاومة مناسبة للجسم تناسبها مضبوطة بحيث تكون المقاومة مع القوة المستعملة في التحرك لاجل واحد مناسبة للجسم دائما وحيث يوجد في المادة تضاد بين التحرك والسرعة وهو مناسب للجسم وهذا التضاد الذي ينبغي ابطاله هو المسمى بالانرسى (اي الحالة الذاتية للجسم)

ويكون الانرسى المذكور في غاية الظهور عند مقابلة المجسمات التي تبذل في تحريك الاجسام الكبيرة والصغيرة ببعضها وذلك ان الطفل الصغير مثلا يحذف بعيدا عنه بعدا كافيا حصوة صغيرة وحبات من الرمل بخلاف الرجال الاقوياء فانه يمكنهم عند جمع قواهم في زمن واحد أن يهتروا بغير اطار واحد جلا تقيلا او قطعة من الرخام مثلا ولتنبه هنا على الكيفية القطعية التي بها يمكن ان يتحصل من القوة تقيصة واحدة بطرق مختلفة فنقول

يمكن قطع الجسم المطلوب نقله الى اجزاء متساوية كاثنتين او ٣ او ٤ الخ ثم توقع القوة بتمامها على كل من هذه الاجزاء فاذا قطع الى جزئين متساويين مثلا فان كلا منهما ينقل بسرعة مضغفة فاذن يكون الجزء ان المذكور ان منقولين في زمن واحد كلى فاذا قطع الى ثلاثة اجزاء متساوية فان كل ثلث ينقل بثلاثة امثال السرعة فاذن تكون الاثلاث الثلاثة منقولة في نفس الزمن الكلى وهكذا

فاذا فرض حيث ان هنالك عشرين جلا متساوية في الجسم ولزم نقل كل منها

الى مسافة معلومة بواسطة ٢٠ قوة تساوية فاذا وصلت هذه الاجمال بعضها مثنى وقلت بقوى متصلة بعضها مثنى ايضا فانه يحدث للثقل ١٠ طرق عوضا عن ٢٠ الا ان العشرين جسما تكون متقولة دائما الى مسافة واحدة في زمن واحد وقد يحصل مثل ذلك ايضا اذا وصلت الاجمال بعضها ثلاث اى ثلاثة ثلاثة اورد باع اى اربعة اربعة وقلت بالقوى المتصلة بعضها ثلاث اورد باع ايضا

فذلك كان على حد سواء (بالنظر الى التقويم الميكانيكى) ثقل الثقل الكلى المذكور في عربات فرس واحد او ٢ او ٣ او ٤ بشرط أن تكون اجمالها تكمل فرس او ٢ او ٣ او ٤ الخ ويكون الثقل الكلى منقولاً دائماً بواسطة العربات الى مسافة واحدة في زمن واحد وهذا هو سبب كون الثقالين يدفعون اجرة معينة بالكيلوغرام في نظير الثقل سواء كان الحاريزن قليلا او كثيرا من الكيلوغرام لان القوة الكلية التى يلزم استعمالها في النقل مناسبة لثقل الكلى من الاشياء المنقولة وبالجملة فهذا هو السبب فى ان الثقالين كانوا يدفعون اجرة واحدة على حسب تقويم الكيلوغرام سواء كان العربية يستعملون فى ذلك عربات فرس واحد او ٢ او ٣ او ٤ الخ لان الثقل الكلى المنقول بكل عربة مناسب للقوة الكلية للخيول المربوطة فى العربة

ولاجل تفصيل تصرف القوى التى يستلزمها الجسم المنقول الى مسافة معلومة يلزم تقويم هذا التصرف اولا بموجب ثقل الجسم المذكور وثانيا بموجب السرعة المعدة لقطع المسافة المذكور فليكون حاصل هذا التقويم دالا على كمية التحرك

وقد يتقوم الثقل بالكيلوغرامات والزمن بالساعات فاذن اذا كان كيلوغرام واحد يقطع المسافة الماخوذة وحدة فى ساعة واحدة كانت كمية التحرك = ١ واذا كان ١٠ كيلوغرامات او ١٠٠ او ١٠٠٠ قطع وحدة المسافة فى ساعة واحدة فانها تؤدى كمية التحرك المينة مرة واحدة

باعداد ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ  
 وإذا كان كيلوغرام ١ او ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ تقطع  
 المسافة مرتين في ساعة فاتها نودى كمية التحرك المبنية مرتين باعداد  
 ١ او ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ من الكيلوغرام  
 وإنما اكدت هنا من ذكر الامثلة لما انها توضح ايضا احادها التعريفات  
 التي ينبغي تسهيلها بقدر الامكان  
 ولتسكلم قبل التوغل فيما نحن بصدده على قوانين السكون والتحريك التي سبق  
 تعريفها قريبا ونذكرها على وجه اجمال فنقول  
 كل جسم ما كن يبقى على حاله ما لم يجبره على التحريك قوة واحدة او قوى  
 متعددة

وكل جسم متحرك يبقى على حاله ما لم تعرض له قوة تمنعه من الحركة  
 وكل جسم متحرك تابع لمستقيم واحد يقطع مسافات متساوية في ازمته  
 متساوية ما لم تعرض له قوة اجنبية تغير ثبات تحركه وانظامه وهذا التحرك  
 هو المسمى بالتحرك المنتظم او المنتسق  
 والسرعة هي النسبة الحاصلة بين المسافة المقطوعة على وجه الانتظام  
 وزمن قطعها

فإذا كان زمن قطع المسافة ثابتا فالسرعة الموضوعة متساوية وثلاث ورباع تكون  
 كالساعة وقد تكون ايضا على النصف او الثلث والرابع ونحو ذلك بحسب  
 تقسيم هذا الزمن وبالجملة فهي مناسبة دائما للمسافة تناسباً مطردا  
 وإذا كانت المسافة المقطوعة ثابتة فكلما كان زمن قطعها كبيرا كانت  
 السرعة صغيرة وحيث تكون نسبتها منعكسة انعكاسا كاملا يعني انه إذا كان  
 الزمن مضاعفا متساويا وثلاث ورباع كانت السرعة على النصف من ثلث او الثلث  
 او الربع وهكذا

وإذا كانت السرعة ثابتة فالمسافة المقطوعة تكون متناسبة للزمن تناسباً  
 مطردا بمعنى انها تزيد وتنقص بنسبة واحدة

وفي التحرك المنتظم تكون القوة مناسبة لجسم مضروباً في السرعة  
وإذا تحركت الاجسام بدون مقاومة فمن حيث كونها متحركة في فراغ عظيم  
تكون باقولة دفعة مستمرة على تحركها بسرعة واحدة في اتجاه واحد  
ولكن يعرض على الارض في كل وقت كثير من الموانع والاحتكاكات  
والمقاومات فتضع دوام تحرك تلك الاجسام  
فاذا تحرك الجسم تحركاتاً متجددة ان هذا التحرك ينقص بالتدريج ويؤول  
امره الى الانعدام

مثلاً اذا لعب اناس بالكرة ظولاً احتكاك الارض ومقاومة الهواء لكنت  
هذه الكرة بمجرد طرحها على مستواقي تتدحرج بدون أن تنقص سرعتها  
لكن لا يعني ان هذه السرعة تنقص على المستويات المصقولة وان بلغت  
في الصقالة ما بلغت وتعلم في اسرع وقت

وعليه فيلزم لاجل استمرار التحرك بالنسبة لقانون أن يضاف في كل وقت  
الى قوة الاجسام المتحركة قوى جديدة

مثلاً اذا كان المطلوب نقل احمال في الطرق فلا يكفي في ذلك أن تحرك  
هذه الاجسام مطلق تحرك بل يلزم تعويض ما انعدم بالمقاومات في كل وقت  
وهو الذي يمكن تحصيله بواسطة الناس والحيوانات المعدة لتمر تلك الاحمال  
وتكون كمية القوى التي يلزم استعمالها في كل وقت مساوية بداهة للقوة  
المعدومة في الوقت المذكور ويغني أن نعتبر أن مجموع ازدياد القوى المستعملة  
في النقل عقب زمن معلوم مساو لمجموع القوى للمعدومة بالمقاومات

فعلى ذلك اذا مشى انسان بقوة مستمرة ز من معلوماً فمجموع القوى  
المستعملة في هذا الزمن يكون دالاً على مجموع القوى المعدومة  
ويؤخذ من ذلك ان تصرف القوى يكون على حسب المسافة في الكبر  
فاذا كان التحرك منتظماً من جميع جهاته كانت القوى المستعملة لتحصيلة  
في زمن معلوم مناسبة لهذا الزمن تناسباً مطرداً

ولنقبه حيثئذ على القاضل العائق الحاصل من جهة بين التحركات التي يمكن

وجودها في الفراغ بدون نوع قامن الا حتمكنا والحاصل من جهة اخرى  
بين التحرك كانت الحادثة منا على الارض فيقول اذا اردنا معرفة مسافة سير  
الكواكب السيارة او ذوات الذنب او اى جرم في السماء وكان هذا التحرك حاصل  
بنفسه فانه يمكن اخذته هذه الكواكب السيارة او ذوات الذنب او الجرم  
المذكور لاجل ضرب ثقل ذلك في السرعة ويكون الحاصل باقيا على حالة  
واحدة في اى مسافة للثقل لانه لا يحتاج الى صرف قوى جديدة لاجل استمرار  
الثقل المذكور الا انه في الارض ينبغي أن يضاف الى هذا المجموع الاول  
على الارض مجموع آخر يدل على القوى المدومة في كل وقت فاذا اخذ  
هذا المجموع الاخر في الازدياد دائما فانه يفوق المجموع الاول حتى يمكن  
اهماله وحيث يقال كما يقول متعهدو النيران ان اجرة النقل تكون متناهية  
للمسافات المقطوعة ما لم يكن هناك مانع وليست هذه المعطولات خاصة  
بالثقل بل تعمه هو واغلب ما يعرض للاآت من التحرك كانت الناشئة عن القوى  
المتنوعة وسيا في ذلك توضيح ذلك خصوصا في الجزء الثالث من هذا الكتاب  
عند الكلام على استعمال القوى المتحركة

وقد ذكرنا ان القوة المنفردة دون غيرها من القوى تحدث التحرك دفعة  
واحدة بالجسم معلوم ونفرض ان هذه القوة يمتدد تأثيرها في خلال الازمنة  
المساوية

ولنرمز بحرف  $h$  الى المسافة المقطوعة بالجسم وبحرف  $v$  الى سرعة  
هذا الجسم وبحرف  $t$  الى الزمن المعلق قطع مسافة  $h$  بسرعة  $v$   
وفي مبدئ وحدة الزمن الثانية تضعف القوة التي تكرر فعلها سرعة الجسم  
مثنى فيقطع في مسافة زمن  $t$  الثاني مسافة تساوى  $2h$   
وفي مبدئ وحدة الزمن الثالثة تضعف القوى التي تكرر فعلها ايضا  
سرعة الجسم ثلاث فيقطع في مسافة زمن  $t$  الثالث مسافة تساوى  $3h$   
وهلم جرا

فاذن يحدث معنا للاوقات المختلفة

زمن ط الأول زمن ط الثاني زمن ط الثالث زمن ط الرابع زمن ط المجي  
سرعة مكسبة ١٢ سرعة مكسبة ١٣ سرعة مكسبة ١٤ سرعة مكسبة ١٥  
مسافة مقطوعة ه مسافة مقطوعة ٢ ه مسافة مقطوعة ٣ ه مسافة مقطوعة ٤ ه

فيكون مجموع المسافات التي عددها م المقطوعة بالجسم في زمن ط  
تساوي بالبداية

$$\text{ه} + \text{ه} ٢ + \text{ه} ٣ + \text{ه} ٤ + \dots + \text{ه} م$$

ولامانع من استعمال الهندسة هنا ليتضح باحد اشكالها هذه الخواص  
النسوية لقوى فتقول

ليكن (شكل ١) مستقيم وس الرأس مقسوما الى مسافات  
متساوية تدل كل واحدة منها على وحدة زمن ط ومستقيم وص  
الانقي مقسوما ايضا الى مسافات متساوية تدل كل واحدة منها على مسافة  
ه المقطوعة مدة زمن ط الاول فاذا وصلنا بين نقط التقسيم مستقيمان  
اقبية ورأسية حدث عن تلك سلام طول كل واحدة منها مسافات ه  
و ٢ ه و ٣ ه و ٤ ه الخ المقطوعة في مدة الازمنة المتوالية  
المساوية لزمن ط ويكون سطح درجاتها المختلفة

وا × ه ، اب × ه ٢ ، بث × ه ٣ ، شد × ه ٤ الخ  
لكن حيث كان وا = اب = بث = شد فاذا فرضنا  
عرض جميع الدرج مساويا لوحدة يكون سطح الدرج  
بالاختصار

$$\text{ه} و ٢ ه و ٣ ه و ٤ ه الخ$$

وسطح السلام الكلي يدل على المسافة الكلية المقطوعة بالجسم  
ونفرض ان القوة الدافعة تؤول الى نصفها الا انها تضاع عدد دفعاتها

في زمن معلوم

وبهتظ وحدة الامتداد لا تكون درجات السلام الجدينية (شكل ٢) التي تدل على هذا التعرّك الجديد الانصف العرض وتصبح ضعف السلام المتقدمة وكذلك لا يكون المسافات المقطوعة في كل نصف زمن الانصف الزيادة الاصلية غير ان هذه الزيادة تكون ضعف الزيادة السابقة

ويمكن أن يفرض ان القوة الدافعة تكون محمولة الى ثلث مقدارها الاصلى اربعة (شكل ٣) او خمسة الخ لكن بتحديد دفعاتها ثلاث مرات او اربعا وخمسا الخ بخلاف القوة الاصلية فانها لا يتجدد الدفعات المذكورة الا مرة واحدة وحيث قد تكون التعرّكات مبنية بدرجات عرضها محمول الى ثلث العرض الاصلى اربعة او خمسة الخ ولا يكون ازدياد طولها الا ثلث الازدياد الاصلى اربعة او خمسة الخ

فانما مدنا مستقيم وز من رأس السلام الى نهايتها السفلى فانه يمر بجميع قط ١١ ب ٢ ب ٣ ب ٤ الخ التي تحدّد اسفل درجات السلام وعلى ذلك تكون المسافات المقطوعة عقب ازمنة

$$\begin{array}{ccccccc} \overline{ط} & \text{و} & \overline{٢ ط} & \text{و} & \overline{٣ ط} & \text{و} & \overline{٤ ط} \\ \overline{١١} & \text{و} & \overline{٢٢} & \text{و} & \overline{٣٣} & \text{و} & \overline{٤٤} \end{array}$$

ثم ان نسبة اضلاع  $\overline{ا ب}$  اذن لا تتغير متى اخذ نصف ضلع  $\overline{ا ب}$  =  $\overline{ط}$  ونصف ضلع  $\overline{ا ج}$  =  $\overline{ه}$  وثلك  $\overline{ا ب}$  وثلك  $\overline{ا ج}$

وربع  $\overline{ا ب}$  وربع  $\overline{ا ج}$  لاجل عمل سلام (شكل ٢) (شكل ٣) الدالين على التعرّكات التي تقدم ذكرها

ولا يتغير اتجاه  $\overline{ا ب}$  و  $\overline{ب ج}$  و  $\overline{ج د}$  الخ متى فرض انقلص مقدار القوة في نسبة واحدة مع كثرة دفعاتها مدة زمن معلوم

فاذا تكررت الدفعات وكانت القوة صغيرة جدا في كل دفعة وانقضى الحال انقسام  $\overline{ا ب}$  =  $\overline{ط}$  و  $\overline{ا ج}$  =  $\overline{ه}$  الى اجزاء متساوية دقيقة جتا فان وجهة سلام ١١ و ٢ ب و ٣ ج و ٤ د الخ



(شكل ١) تكون مستقيما واحدا مستقيم وز بحسب النظر (شكل ٤)  
 وحيث كان سطح سلاط و ٢ ١ ١ ب الخ زس دالا على المسافة  
 الكلية المقطوعة بالجسم مدة الزمن المبين بخط وس يكون في هذه الحالة  
 سطحا مثلث وسز (شكل ٤)

وحيث ان السرعة مناسبة للمسافة المقسومة على الزمن (المجول هنا وحدة)  
 فان اطوال درجات آ و ب و ث تكون دالة  
 على السرعة المتعددة المكتسبة من الجسم عقب زمن مساو لكل من ا ط  
و ٢ ط و ٣ ط الخ

فاذن تكون هذه السرعة باقية على حالة واحدة عقب زمن واحد بفرض ان  
 القوة المحركة الى  $\frac{1}{4}$  و  $\frac{1}{3}$  و  $\frac{1}{2}$  و  $\frac{1}{5}$  الخ  
 تؤثر في الجسم مرتين او ٣ او ٤ او ٥ الخ بخلاف القوة الاصلية  
 فانها لا تؤثر فيه الا مرة واحدة

واذا كان عدد الدفعات عظيما جدا مدة زمن معلوم وكان لا يمكن تمييزها  
 بسبب تغير السرعة المتعددة على حين غفلة فان مستقيم وز (شكل ٤)  
 و (شكل ٥) يدل كاذر على السرعة المكتسبة حتى دل وس على الازمنة  
 الماضية و سطح السلاط الذي يكون حينئذ سطح مثلث وسز يدل على  
 المسافات المقطوعة وبناء على ذلك تكون السرعة المكتسبة مينة بطول  
سز وكذلك المسافة المقطوعة تكون مينة ب سطح وسز وذلك  
 عقب الزمن الرموز اليه بخط وس

فاذا رمزنا بحرف ط و ط الى الرمين المبين بخطى وس  
 و وس (شكل ٥) و رمزنا بحرفى ق و ق الى سرعتين  
 الميتين بخطى سز و سز ثم بحرفى هـ و هـ الى المسافتين  
 الميتين ب سطح مثلثي وسز و وسز فانه يحدث عن ذلك  
وس : وس :: سز : سز  
او ط : ط :: ق : ق

وحيث أنه يكون في التحرك المتغير عندنا سرعتان  $و$  و  $ق$  المكتسبتان

حسب زمني  $ط$  و  $ط$  مناسبين لهذين الزمنين

وزيادة على ذلك بمقتضى الدرس الخامس من الهندسة يكون

سطح  $وسز$  : سطح  $وسز$  ::  $وسز$  :  $وسز$

او  $ه$  :  $ه$  ::  $ط$  :  $ط$

فان تكون المسافات مناسبة لمربعات الازمنة المعتبرة لتقطعها

وعليه فيقال حيث كانت الازمنة  $١ط$  و  $٢ط$  و  $٣ط$  و  $٤ط$  و  $٥ط$  و  $٦ط$  الخ

فان المسافات المقطوعة تكون  $١ه$  و  $٤ه$  و  $٩ه$  و  $١٦ه$  و  $٢٥ه$  و  $٣٦ه$  الخ

وحيث كان في مثلثي  $وسز$  و  $وسز$  التشابهين

سطح  $وسز$  : سطح  $وسز$  ::  $وسز$  :  $وسز$

او  $ه$  :  $ه$  ::  $ق$  :  $ق$

فالمسافات المقطوعة في ازمئة معلومة تكون حيث لم تكن مناسبة لمربعات السرعة

المتعددة المكتسبة في نهاية هذه الازمنة

وبناء على ذلك

ففي حسب ازمئة  $١ط$  و  $٢ط$  و  $٣ط$  و  $٤ط$  و  $٥ط$  و  $٦ط$  الخ

تكون السرعة المكتسبة  $١و$  و  $٢و$  و  $٣و$  و  $٤و$  و  $٥و$  و  $٦و$  الخ

والمسافات المقطوعة  $١ه$  و  $٤ه$  و  $٩ه$  و  $١٦ه$  و  $٢٥ه$  و  $٣٦ه$  الخ

فاذا فرض انه في حسب زمن  $ط$  المين يحط  $وس$  (شكل ٥)

يدل على القوة الدافعة من اول وهلة فان الجسم يتحرك بتسريعة  $ق$  الثابتة

المين يحط  $سز$  وحيث تكون الخطوط الاقضية المتساوية وهي  $سز$

$= سز = سز$  دالة على هذه السرعة الثابتة

وسطح مثلث  $وسز$  يدل على المسافة الكلية المقطوعة منذ زمن  $ط$

بعده قوى دافعة صغيرة جدا تأثيرها ثابت على الدوام

وسطح مستطيل  $سز زس$  الذي هو ضعف مثلث  $وسز$  يدل

على المسافة الكلية المقطوعة مدة زمن ثان من موزله بحرف ط بسرعة  
ثابتة مكسبة عقب زمن ط الاول  
وعلى ذلك اذا جددت قوة ثابتة صغيرة جدا دفعاتها في مسافات صغيرة متخللة  
بين ازمدة متساوية فان المسافة الكلية التي قطعها الجسم بتلك القوة في مدة  
زمن ط تكون نصف المسافة التي كان يقطعها هذا الجسم في نفس زمن ط  
لولا تجديد القوة المذكورة دفعاتها

\*(بيان التناقل)\*

قد دلت الطبيعة على مثال عظيم متعلق بال تكرار المستمر الحاصل من القوة  
الدافعة الثابتة وهي ان جميع الاجسام انحدابا وميلابا الى مركز الارض فتكون  
القوة المذكورة محسومة من منفع من جذب الجسم المطلوب ثقله وتكون قوة  
التناقل في كل وقت معدومة بمقاومة الجسم ثم تتجدد ثانيا وقتا بعد آخر  
بتأثير مستمر واحد

وعليه لجميع النتائج المتحصلة بواسطة القوى التي تتجدد دفعاتها كل وقت  
توافق ايضا قوة التناقل

وحيث اذا سقط جسم بدون معارض ولا مانع حدث عن ذلك اربع حالات  
(اولا) ان السرعة المكررة المكسبة تكون مناسبة للازمدة المعدة  
لاكتسابها

(ثانيا) ان المسافات الكلية التي يقطعها الجسم المذكورة تكون مناسبة  
لمربعات الازمدة المعدة لقطعها

(ثالثا) ان تلك المسافات الكلية المقطوعة تكون مناسبة لمربعات السرعة  
المكررة المكسبة بالجسم عقب كل مسافة مقطوعة

(رابعا) انا اخذ الجسم عقب زمن معلوم سرعة ثابتة مساوية للسرعة التي  
اكتسبها في هذا الزمن بعينه فانه يقطع مسافة كلية ضعف المسافة التي قطعها  
وذلك مع ازدياد سرعته بالتدريج

وفي اي مكان من الارض تكون المسافة التي يقطعها الجسم عند سقوطه

في اول ثانية مساوية  $٩٠٤٣٩٧٥$  و  $٤$  فلا مانع حيث قد من ان سرعته  
المكتسبة في عقب الثانية تجبره على قطع ضعف تلك المسافة مع الاتظام

بمعنى انها تكون مساوية  $٨٠٨٧٩٥$  و  $٩$  في الثانية الواحدة  
وفي عقب  $١٠$  ثوان تكون المسافة التي يقطعها الجسم عند وقوعه بدون  
معاوض مساوية  $١٠٠$  مرة للمسافة التي يقطعها مدة الثانية الواحدة

اي انها تساوي  $٤٣٩٧٥$  و  $٤٩٠$  وتباوي ايضا في الدقيقة الواحدة

$١٧٦٥٥٠٠٠٠٠٠$

ولا بد للاجسام الساقطة من شيء عظيم تصل به سرعتها الى هذه الدرجة وذلك  
لمقاومة الهواء لها (كما سيأتى في استعمال القوى المحركة المذكورة في الجزء الثالث)

\* (تطبيق) \*

إذا لم تكن المسافات المعدة للقطع كبيرة جدًا واستعملت اجسام كبيرة جدًا  
فانه يمكن بواسطة الآلة الحساسة الدالة على اجناس الثانية الواحدة قياس عمق  
البئر وارتفاع الحائط والقبة ونحو ذلك قياسات تقريبيا مستعملا فاذا خلى  
الجسم ونفسه للوقوع وعدت التوائى وكسورها التي يقطع بها الجسم المذكور  
هذه المسافة فان مربع هذا العدد يضرب في  $٩٠٤$  و  $٤$  الخ ويكون حاصل  
ذلك هو المسافة المقطوعة

ولنذهب على ما بين الهندسة والميكانيكا من الارتباط الذي يعلم به ارتفاع عمارة  
او عمق معدن بواسطة النظر في الساعة ويعلم به ايضا طول زمن مضى بواسطة  
قياس المسافة قياسا بسيطا فنقول قد استبان من البندولات مثال شهير في شأن  
الارتباط الحاصل بين العلمين المذكورين اللذين جمعت قواعدهما وتساخجها  
لتضع بها سبل الصناعة وتسهل مناولتها  
فاذا عرفت ما ذكره في شأن تأثير ايدى الاهوان والالات الدق وضرب

التقود والمطارق ونحو ذلك اتضح لك انهم توصلوا بواسطة الفنون الى تطبيق  
قوانين مقوطة الاجسام وتوسيع دائرتها والاهتمام بشأنها تطبيقا مفيدا  
وان معرفة هذه القوانين عمالآبد منه

ولنعرض انه حين شروع التناقل في اندفاعاته المتكثرة كل وقت يكسب  
الجسم سرعة ما وفي ذلك ثلاث صور

الصورة الاولى اذا كانت السرعة الاصلية متجهة بجهة التناقل فحيث كانت  
ثابتة فانها تنضم الى السرعة المتعددة الحادثة من التناقل المذكور

وفي هذه الصورة يطلق على التناقل بالنظر للاجسام التي تزداد سرعتها وتسير  
مع الجبهة في كل وقت اسم القوة المجهلة

الصورة الثانية اذا كانت السرعة الاصلية متجهة الى جهة مضادة لجهة  
التناقل فان هذا التناقل يخص السرعة المذكورة في كل وقت وحيث كان  
التناقل المذكور يعطل سير الجسم بلا انقطاع اطلق عليه اسم القوة المعطلة  
البيئية

مثلا اذا اطلعتنا طبخية من اعلى الى اسفل فان الرصاصة الخارجة منها تقع  
في مبداء الامر بالسرعة الحادثة لها من البارود المشتعل ثم تزداد هذه السرعة  
بتأثيرات التناقل المتكررة المشابهة لتأثير القوة المجهلة

واذا اطلقنا طبخية من اسفل الى اعلى فان الرصاصة ترتفع في مبداء الامر بالسرعة  
الحادثة لها من البارود المشتعل غير ان تحركها يتعطل في كل وقت بما يحدث  
عن التناقل من التأثير المتجدد المشابه لتأثير القوة المعطلة

وفي عقب زمن ايا كان يتطل سرعة الرصاصة الاصلية بتأثير التناقل المتضاد  
فتمتلك هذه الرصاصة ساكنة زمنا ثم تهبط بتأثير التناقل من الوضع الذي كانت  
فيه وهي ساكنة ويستمر التناقل على ذلك كقوة مجهلة

وفي هذا الصرح الجديد تزيد قوة التناقل في كل وقت بكمية من التأثير مساوية  
بالضبط للكمية المنقصودة مدة صعود الرصاصة وعليه ففي مدة الزمن  
للمذكورة تقطع الرصاصة مسافات متساوية قبل الوقت الذي تصل فيه

الى اقصى درجة من الارتفاع وكذلك بعده سواء كانت صاعدة اوهابطة  
وتكون معموبة دائما بسرعتها المكتسبة اذا وصلت الى ارتفاع واحد  
سواء كانت صاعدة اوهابطة ايضا

ويجب حفظ ما ذكرناه لانه من اعظم قواعد علم الميكانيك كفاية وسياق لك  
مايدل على اهمية تطبيقاتها المتعددة على الصناعة

والسرعة المدومة بالرصاص الصاعدة مناسبة للزمن الماضي منذ انطلاقها  
وتقصان المسافة المقطوعة بالرصاص المذكورة مناسبة لربع هذا الزمن

والسرعة المكتسبة بالرصاص الهابطة مناسبة للزمن الماضي منذ شروعها  
في الهبوط والمسافة المقطوعة بالرصاص المذكورة بواسطة الشاغل مناسبة  
لربع هذا الزمن

ونطلق القوى البسيطة على القوى التي لا تؤثر في الجسم الامرة واحدة  
وبها تكون المسافات المقطوعة مناسبة للسرعة الثابتة المتعددة

ونطلق القوى النشاطية على القوى المجردة او المعطلة التي يكون قياسها معلوما  
من مربع السرعة المكتسبة المتعددة

واى وضع وجد فيه الجسم مدفوعا بى سرعة كانت فانه اذا هبط مدة زمن ط  
اكتسب سرعة ق المناسبة لزمن ط المذكور عليه اذا كان م رمزا  
لجسم هذا الجسم فانه يكتسب كمية من الحركة تساوى م × ق وهذه  
الكمية هي مقدار القوة النشاطية من م

فاذا اوقفنا جسما ليكتسب قوة يمكن استعمالها ما بعد في اشغال الصناعة  
فانه يستدل على كمية القوى التي يجمعها بضرب مجموعه في سرعته المكتسبة  
وذلك في عقب

$$١, ٢, ٣, ٤ \dots \text{الخ من التوالى}$$

$$١, ٤, ٩, ١٦ \dots \text{الخ م} \times ٨٠٨٧٩٥, ٩$$

فاذا اخذت هذا المقادير من الشال الى اليمين ادت الجسم الهابط القوة النشاطية

المتزايدة وإذا أخذتها من الجين إلى الشمال أدت للجسم المساعد القوة النشطة  
المتناقصة

والفاضل بين هذه القوى هو عين الفاضل بين الارتفاعات سواء كانت القوى  
الذكورة صاعدة أو هابطة

وحينئذ إذا وقع جسم بدون معارض بقوة نشطية مكتسبة من ابتداء  
قطعة  $\bar{A}$  إلى قطعة  $\bar{B}$  أو حذف هذا الجسم من أسفل إلى أعلى بالقوة  
الذكورة فإنه يرتفع من  $\bar{B}$  إلى  $\bar{A}$  قبل أن تبطل قوة التناقل المعطلة  
جميع ما تحصل منها في مبداء الأمر عند تنزيلها للجسم المذكور

ومن ثم يعلم أنه لا يمكن استخراج فائدة من القوة المكتسبة بالجسم الهابط  
ليصعد بها أعلى من نقطة مبداء سيره ولا من القوة للعدومة بالجسم المساعد  
لترداد قوته بواسطة سقوطه إذا اقتضى الحال رجوعه إلى نقطة مبداء سيره

وهذه الحقائق في غاية السهولة ومع ذلك إذا تفتن إليها العقل حادها عن الوقوع  
في الاختلاطات والتراكيب القاسدة والمباحث الخالية عن الفائدة المتعلقة  
بالحركة الدائم

فإذا كان هناك جسم ساكن ووقع عليه تأثير الهواء كان هذا التأثير قوة  
دافعة له تتجدد دائماً حتى يكسب سرعة مساوية لسرعة الهواء المذكور  
لكن كلما اكتسب الجسم المذكور سرعة أكبر من الأولى حصل له من الهواء  
دفعه غير قوي وعلية ففي هذه الحالة لا تكون القوة المعجلة ثابتة وكذلك  
لا تكون القوانين المحكمة المنظمة لنسب الزمن مع السرعة المتكررة والمسافات  
المقطوعة أسهل من القوانين التي ذكرناها وينطبقها على التناقل

(وسأني أن قوة التناقل لا تكون ثابتة على إبعاد متنوعة من مركز الأرض)  
وإذا فرضنا أن جسمًا يتحرك في الهواء الساكن أو في اتجاه مضاد لاتجاه الهواء  
فإنه بمجرد ازدياد سرعته يحصل له من الهواء مقاومة متزايدة وعلية فلا يكون  
الهواء مؤثراً كالقوة المعطلة الثابتة قطبيل يكون مؤثراً كالقوة المعطلة  
المتزايدة

وسأني لهذه الملاحظات التي ذكرناها هنا على وجه اجمالي من يد توضيح عند تعريف طبيعة قوة الهواء الخاصة وبيان تطبيقها على الصناعة (في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة المطبقة على الصناعة)

هذا ولم يبق علينا الا الصورة الثالثة ولتذكرها هنا فنقول ان هذه الصورة هي التي تكون فيها القوة الاصلية متجهة الى جهة مخالفة لتأثير القوى المعجلة او المعطلة وحيث لا يقطع الجسم خطا مستقيما وانما يرسم منحنيًا تكون خاصيته وانحناءه على حسب تأثير القوى المعجلة او المعطلة وشدة تلك القوى

ولا تذكر هنا الا قوتين وهما قوة الهواء وقوة التناقل اللتان يؤثران في تحريك الاجسام سرعة او بطا واما الصناعة فيستعمل فيها جلة عظيمة من القوى الاخرى لانهما تبطل مقاومة ماساهما من القوى لاجل تحصيل النتائج المطلوبة وقد تقدم الكلام على بعض تلك القوى ولترجع الى ما نحن بصدده فنقول

اذا كان هناك سفينة متحركة على الماء فان تحريكها يكون بقوة مستمرة تقلها من حالة السكون حتى تصل الى غاية ما يمكن من السرعة فيلزم ان تبطل بالتدريج مقاومات الماء الشبيهة بتأثير القوة المعطلة ولا تصل الى حالة التحرك المنتظم او المنتسق الا اذا كان ما ينظم من السرعة بتأثير القوة المعطلة مساويا لما يتجدد من السرعة عن القوة الدافعة التي يفرض تجدد تأثيرها في كل وقت نساويا مضبوطة

وقد امتازت القوة الدافعة عن غيرها من القوى في انواع الا لا تكون تأثيرها يزيد في كل وقت بكمية معلومة لاجل ابطال المقاومات التي تجدد في كل وقت لابطال هذه الكمية بعينها

فهي اخذت آلة في التحرك فانها تظهر بالقوة الدافعة على القوة المعطلة فينشأ من ذلك استمرارها على هذا التحرك وهو الذي يزداد بالتدريج حتى يصل الى الدرجة التي يكون ما ينعدم فيها من السرعة في كل وقت بالمقاومات مساويا لما يتجدد منها اي السرعة بالقوة الدافعة وبالوصول الى هذه الدرجة يكون



تتحرك الآلة منتظما او منتسقا وهذا التحرك هو الجارى فى الاشغال العادية من اشغال الصناعة

وللتحركات الاولى المتغيرة منزبة على غيرها فى تحرك الآلات وهى ان سرعتها فى مبداء الامر تكون معدومة ثم تتجدد وتزداد بالتدريج حتى تصل الى السرعة الثابتة المستعملة فى الاشغال المستمرة

هذا ولم يبد هذه الملاحظة لجرد ارضية فيما بل لكونها ضرورية فى فهم تحرك الآلات فانه فى مبداء التحرك يكون جزء من القوة الدافعة معدا لان يحصل به لكل من اجزاء الآلة درجة من السرعة الموافقة لحالة الشغل العادى الثابتة وعليه فيلزم ان تلك القوة يتقدم بها أولا انزى الآلة (اى سكونها) وثانيا اوائل مقاومات القوى المعطلة لانه اذا اعطى للآلة المذكورة من اول وهلة قوة ثابتة مع السرعة اللازمة لها فى حال تحركها الاعتيادى لزم ان تلك القوة وقية عظيمة جدا حتى تبطل دفعة واحدة المقاومات الخاصة بهذه الآلة والمقاومات الحادثة من انزى اجزائها وبذلك يخشى على الاجزاء المذكورة فانها ان لم تنكسر وتلف نصف حلقاتها وسنذكر فى الكلام على تحرك الطارات المضرومة مثالا شهيرا نفعل به اهمية ما ذكر

\*( الدرس الثالث )\*

\*( فى بيان القوى المتوازية )\*

لا يخفى اننا الى الان لم نذكر الا القوى المتجهة على مستقيم واحد وسبق ان عملها يريدون يتصل على حسب تأثيرها فى جهة او اخرى تقابلها فانما كانت القوى لا تؤثر على مستقيم واحد قط بل على مستقيمتين متوازيين فانه يحصل عن ذلك تأثير كائنا فى القوى المتقدمة

مثلا اذا كان فرسان يجزان عربى فى قطار واحد على مستقيم واحد كان تأثيرهما عين تأثير فرسين مشدودين بجوانب بعضهما ويجزان ايضا بالتوازي وكذا ثلاث افراس مربوطة فى قطار واحد ومتجهة على مستقيم واحد يكون تأثيرها عين تأثير ثلاثة اخرى مشدودة بجوانب بعضها وجارة بالتوازي

وهلم جرّا

فاذن يحدث من القوى المتوازية العديدة المتجهة الى جهة عين التأثير الذي يحدث من قوة واحدة تساوي مجموع تلك القوى وتجزى في اتجاه واحد وهي المعروفة بمحصلة تلك القوى

فاذا كان هناك قوى متوازية تجذب الى امام واخرى مثلها تجذب الى خلف وحولت الاول الى قوة واحدة مساوية لمجموعها والاخر الى قوة واحدة مساوية لمجموعها ايضا فان القوة المحصلة الكلية تكون مساوية لتفاضل المجموعين ومتجهة جهة اكبرهما

وقد ذكرت لك هذه النتائج الثابتة بالتجربة لما ان استعمال هذه الكيفية اولى من اقامة براهين غير جلية لا تقنع ارباب القرائح الجيدة فلو قلنا مثلا كما يقول بعض مؤلفي الاصول الاولى انه يلزم اعتبار قوتين متوازيتين في الاتجاه كللتقاطعتين في نقطة واحدة تقاطعا غير محدود ولهما اتجاه واحد غير محدود ايضا واكرنا التعبير بهذه الطريقة لما ذكرنا لك في الحقيقة الاشياء غامضة قليلة الوضوح وبما يسهل مشاهدته ان لمصلحة القوى المتوازية اتجاهها واحد ومع القوى المتركبة منها وانما تساوى مجموع ما كان منها يجذب الى امام ناقصا مجموع ما كان منها يجذب الى خلف وانما يصعب أن يشاهد في جميع الحالات وضع المحصلة الحقيقي ومعرفته متوقفة على مراجعة الهندسة

وذلك ان الهندسة تبين بواسطة الخطوط المناسبة زيادة عن المسافات المقطوعة او المعطاة لقطع والمسافات المشغولة بالآلات ومحصولات الصناعة اصولا ميكانيكية بظن انه لا علاقة بينها وبين علم الامتداد ويجب مزيد الالتفات الى هذا الغرض المهم

وبالجمله فلا علاقة بين مدة الزمن وطول الخط الا ان الزمن يتقسم الى اجزاء متساوية كالساعات مثلا وتنقسم الساعات ايضا الى اجزاء متساوية كالدقائق والثواني وغير ذلك والخط المستقيم او المنحني يتقسم ايضا الى اجزاء متساوية مغيرة بارقام ١ و ٢ و ٣ الخ كالساعات التي تتعاقب في السير من وقت

معين ويتقسم كل جزء من تلك الاجزاء الى اجزاء متساوية بقدر ما في الساعة من الدقائق وهذه التقسيمات الجديدة تدل على دقائق كل ساعة فاذا قسمنا اجزاء الخط الجديدة تقسيما ثانويا بقدر ما في الدقيقة من التواني فان التقسيمات الحادثة من ذلك تدل على التواني وهم جرتا

فاذا اوضعت الفكرة بالارحام على هذه التقسيمات امكنك أن تستدل على الزمن أولا بالاعداد وثانيا باطوال الخطوط فاذا اجعت اجزاء الخطط او طرحتها اوضرت بها اوضاعها كما فعل ذلك في اجزاء الزمن الدالة عليه كان بالبداية الخط الاخيرة وهو حاصل جميع هذه العمليات دالا على الزمن الاخير المطلوب تقديره وهذه هي كيفية استعمال الهندسة في الاستدلال بالخطوط على الزمن

ثم ان مينات الساعات صغيرة كانت او كبيرة على شكل دائرة منقصة الى اثني عشر حرا متساوية تدل على الساعات ومنقصة ايضا تقسيما ثانويا الى ستين جزءا متساوية تدل على الدقائق لكن لما كانت وحدة القياس مختلفة في الدقائق والساعات لزم الساعة ضربان ليتبعها حركتهما ولزم ايضا ان العنبر المعدل للدقائق يكون اسرع في السير من العنبر المعدل للساعات باثني عشرة مرة

وفي المزاويل الشمسية تكون مدة الزمن مينة ايضا باصول هندسية وهي الزوايا وذلك بان تخمن مركز المزاولة مستقيما موازيا لمحور الارض وتقرض مستويا يمر بكل من المستقيم المذكور ومركز الشمس ويدور دورا منتظما \* والزوايا التي تقبض فحركة تكون ايضا قياسا للمسافات المقطوعة

وكل من السرعة والزمن قابل للاستدلال عليه بالخطوط وحيث تكون ارتفاعات  $\overline{وا}$  و  $\overline{اب}$  و  $\overline{بث}$  المينة في (شكل ١ من الدرس الثاني)

دالة على الازمنة الماضية \* وما يكتسبه الجسم من السرعة المتكررة يستدل عليه بمستقيمت  $\overline{اا}$  و  $\overline{بب}$  و  $\overline{ثج}$  الخ المتوازية

وحيث تستدل على المسافات المقطوعة بالسطوح كما تقدم ومقاريد الاستدلال على المسافات المقطوعة بخطوط مناسبة لها وعلى الازمنة بخطوط ايضا كانت السرعة المتكررة هي النسب الحاصلة بين هذه

الخطوط فاذن لا يستدل عليها من الآن فصاعدا الا بالاعداد  
واما القوى فانهما ليست من جنس الزمن ولا السرعة ولا المسافة لكنها حواريض  
تستعمل الزمن لسير الاجسام من مسافة معلومة في زمن معلوم بسرعة  
معلومة

فيكون ان يستدل على القوى بخطوط مناسبة لها ومتجهة انجباها  
كما استدل بها على الازمنة والسرعة المتكررة والمسافات

وهذه القضايا واضحة سهلة اذ بها يظهر لك من قول وهله اعظم فوائد علم  
الهندسة وانما احتجج الى هذا العلم هنا لتسهيل به معرفة الميكانيكا ولاجل  
استحضار او معرفة حقائق الاشياء وان كان لا وجود لها في الطاهر بحيث يمكن  
ادراكها بالحواس كالزمن فانه لا يمكن رؤيته ولا مسه ولا سماعه وانما يمكن  
رؤية الخطوط والنقط والارقام المرسومة على المزولة ويؤخذ من ذلك ان الاشياء  
تكون مشاهدتها بواسطة الهندسة وبها يمكن قياس الزمن

وكذلك لا يمكن رؤيته مثل الجواهر لاسماعه ولا مسه وانما يمكن رؤيته تقاسيم المستقيم  
المرسوم بقدر طول البارومتر (وهو ميزان للهواء) الذي تعرف به تغيرات نقل  
الجو ويتوصل بالهندسة الى ادراك ذلك كله بالحواس

ولا يمكن ايضا الحكم بمجرد النظر على الضغط الحادث عن البخار في قدر من الماء  
البخار وانما يمكن بواسطة المانومتر (وهو ميزان الابخرة) الذي هو كناية  
عن بارومتر بخاري ان يستدل على هذا الضغط بخط متقسم الى اجزاء متساوية  
وسمائي لذلك في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة

تلاغر وحيث في الاستدلال على القوى بخطوط مستقيمة واتجاه هذه  
الخطوط هو عين الاتجاه الذي يتبعه الجسم الواقع عليه تأثير القوة المينة  
بما تقدم به طول الخط يدل على مقدار القوة ولترجع الى ما نحن بصدده وهو  
القوى المتوازية فنقول

متى كان القوتان المرموز اليهما بمستقيمي  $AS$  و  $BS$  (شكل ١)  
جاذبتين لمستقيمي  $AB$  العمودى عليهما كان قضيب  $BS$  مربوط

بمنتصف آب والموازي لهاتين القوتين والموضوع على وجه منتظم  
بالنسبة لهما دالا بالبداهة على اتجاها محصلهما وبالجملة بحيث كانت قوة العين  
ليست اكبر من قوة الشمال فلا داعي لان تكون المحصلة اقرب الى العين  
من الشمال اوالى الشمال من العين

فاذا كان هناك ثلاث قوى جاذبة بالتوازي لمستقيمات آس و بق  
و شز (شكل ٢) وموضوعة على بعد واحد من بعضها فان المحصلة  
تقع في بق وهم جزاؤها فان الصورتان يجريان في كثير من عمليات  
النقل بالعربات

مثلا اذا جرّ فرس واحد عربية بواسطة مجرى من موضوعين وضعا منتظما على  
يمين منتصف العربية وشماله فانه يسحب بالسوية مجرى العين والشمال وعليه  
فينبغي أن تسير العربية الى الامام في اتجاه مواز للمجريين المذكورين كما اذا كان  
الفرس لا يجزّ الا بواسطة جبل او جزائر ثابتة في منتصف العربية

واذا كان هناك فرسان جاذبان بجانب بعضهما فانهما يكونان على بعد واحد  
من نقطة المنتصف وهي ع (شكل ٣) وعلى ذلك تكون مجزّات ط  
و ط و ط و ط الاربعة موضوعة وضعا منتظما على يمين المنتصف  
وشماله ويبان ذلك أولا ان محصلة مجرى ط و ط مساوية ط + ط  
وواقعة على ه في منتصف كنف العربية وهو ا وثانيا ان محصلة  
مجرى ط و ط مساوية ط + ط وواقعة على ف في منتصف  
الكنف الثاني للعربية وهو ذ وثالثا ان لقوتي ه و ف  
محصلة وهي غ مساوية لمجموعهما وهو ط + ط + ط + ط  
وموضوعة على بعد واحد من ه و ف

فعلى ذلك يكون مستقيم غ المارّ بمنتصف العربية دالا في الاتجاه على  
المحصول الناتجة

ولنفرض أن هناك قوتين متوازيتين وهما آس و ص غير متساويتين  
وجاذبتين لتضيق آر (شكل ٤) والمطلوب معرفة وضع المحصلة

فلاجل ذلك نفرض أن  $\overline{س ر ا ث}$   $\overline{س ر ث}$  (شكل ٥) منشوران  
 او اسطوانتان متجانستان ومتحدتان في السمك والطول بحيث اذا انطبق احد  
 طرفيهما على الآخر كانا شاذلين لطول  $\overline{ا س}$  مرتين وهذا ما يمكن عمله دائما  
 فاذا قتر هذا اضع لك أن ثقل  $\overline{ث ا س} = \overline{س و ث}$   $\overline{س ر ث}$   
 $= \overline{ص}$  لا يتغيران اذا علق  $\overline{ث ا س}$  و  $\overline{ث ر ص}$  من منتصفهما  
 تعليقا اقويا فحينئذ يوجد بين  $\overline{ا و}$   $\overline{ا و}$  نصف طول الثقل الصغير  
 وثانيا نصف طول الثقل الكبير وعليه يكون مجموع نصفي الطولين المذكورين  
 مساويا لبعده  $\overline{ا س}$  فاذن ينطبق الثقلان على بعضهما ويكونان موضوعين  
 على وجه بحيث لا يتكون منهما الا ثقل واحد فاذا فرض انهما من مبداء الامر  
 متلاصقان فذلك لا يغير وازنهما لكن ثقل  $\overline{س ر ص}$  المتكون منهما المتحد  
 السمك في كل من طرفيه يكون بالبداية متوازنا عند تعليقه من منتصفه بقوة  
 واحدة وليكن  $\overline{ث}$  رمز هذا المنتصف فتكون محصلة قوتي  $\overline{س و ث}$  و  $\overline{ص}$   
 وهي  $\overline{ر}$  مارة بنقطة  $\overline{ث}$  المذكورة

فاذا فرض عكس طرفي  $\overline{ا س}$  بأن جعل احدهما موضع الآخر وكنت نقطة  
 $\overline{ث}$  موضوعة على  $\overline{ث}$  حدث بالبداية هذا التساوي وهو

$$\overline{ر ث} = \overline{ا ث} = \overline{ر ص}$$

$$\overline{ا ث} = \overline{ر ث} = \overline{ا س}$$

وعلى ذلك تكون نقطة  $\overline{ث}$  واقعة على نقطة  $\overline{ث}$  في منتصف  $\overline{ا س}$   
 فاذن ينبغي الوضع في  $\overline{ث}$  على ابعاد متساوية من  $\overline{ا س}$  و  $\overline{ر ص}$   
 المتساويتين لقوتي  $\overline{ر ص}$  و  $\overline{ا س}$  لاجل تحصيل نقطة وقوع المحصلة  
 ولذا كررنا مثالا في شأن هذه الحقيقة يتعلق بميز العربات بالخيول فتقول  
 يستعمل في ذلك غالباً هذه الطريقة وحاصلها انه اذا كان هناك ثلاث افراس  
 وهي  $\overline{س و ص و ز}$  (شكل ٦) مربوطة بجانب بعضها فان  
 القربين المرموز اليهما بحرفي  $\overline{ص و ز}$  يكونان مربوطين بكتف العربية  
 وهو  $\overline{ا}$  وتكون محصلتهما وهي  $\overline{ث ر}$  مساوية لمجموع قوتيهما

وموضوعة في منتصف  $\overline{AR}$  وهذه المحصلة تقع مباشرة على قوة القوس الثالث وعليه فتوضع نقطة  $H$  مرتين قريبا من  $\overline{SR}$  و  $\overline{DS}$  وهي نقطة وقوع قوتي  $\overline{SR}$  و  $\overline{DS}$  وبناء على ذلك تكون ايضا نقطة وقوع المحصلة الناتجة منهما وهي  $X$  وقد يكون  $H$  متجها على محور العربية الطولي

وليفرض كما في (شكل ٤) أن قوة  $\overline{R} = \overline{S} + \overline{ص}$  فتوق على قوة  $\overline{ص}$  قليلا قليلا حيث أن  $\overline{س}$  تنقص كثيرا كثيرا فإذا فرض في مساواة  $\overline{R} \times \overline{رث} = \overline{س} \times \overline{ار}$  أن  $\overline{ر} = \overline{رث}$  لا يتغيران فلا يخفى أنه كلما نقص  $\overline{س}$  ازداد  $\overline{ار}$  وإذا كلفت قوة  $\overline{س}$  بحركة بالتوالي الى نصف طولها الاصل "او ثلثه او ربعه او غير ذلك لزم أن يكون بعد  $\overline{ارث}$  مضاعفاً وثلاث ورباع وهكذا لاجل حفظ حاصل  $\overline{س} \times \overline{ار}$  وإذا بلغ  $\overline{ار}$  في الأكبر ما بلغ فإنه يوجد دائماً مقدار صغير لقوة  $\overline{س}$  التي لا مانع من مكافئتها المساواة المتقدمة فاذن بقوى  $\overline{ر} = \overline{س} + \overline{ص}$  على  $\overline{ص}$  بكمية يسيرة وهي  $\overline{س}$

ويحدث من ذلك القضية المشهورة وهي أنه لا يمكن توازن قوتين كقوتي  $\overline{ص}$  و  $\overline{ر}$  مع قوة ثالثة كقوة  $\overline{س}$  متى كانتا متساويتين ومتوازيتين ومتجهتين الى الجهتين متضادتين وإذا بلغت قوة  $\overline{س}$  في الصفر والتباعد ما بلغت فإنها لا تبلغ في ذلك حد الكفاية

وحيث ان القوة الكلية لا يمكن أن توازن قوتين متساويتين ومتضادتين ومتوازيتين يلزم أن لا يكون لهاتين القوتين محصلة كلية قابلة لان تسير الجسم الى الامام على خط مستقيم فاذن يحدث عن هاتين القوتين المتساويتين المتضادتين المتوازيتين على الجسم الواقعتين عليه تأثير آخر بدلا عن التأثير الذي يسيره على مستقيم واحد وسيأتي الكلام على ما يكون للجسم من قوانين التفرع الجليدي في الدرس الرابع بعد توضيح ما يتعلق بالتفرع كان الحدادته على مستقيم واحد

وليرجع الى تأثير القوي المتوازية التي يمكن أن يكون لها محصلة ونذكر في شأنها قاعدة شهيرة فنقول

مضى كان هناك قوتان كقوتَي  $S$  و  $V$  واقعتان هوديا على قضيب  $AB$  (شكل ٧) فاذا انحرقتا بالسوية بشرط انه لا يتغير توازيهما في  $S$  و  $V$  كانت محصلتهما وهي  $R$  المساوية لمجموعهما دائما واقعة على نقطة  $T$  وحيث لا يكون لوضع نقطة الوقوع ولا مقدار المحصلة تعلق بميل هاتين القوتين المتوازيتين بالنسبة للمستقيم الواسل بين نقطتي وقوعهما ثم ان هذه الخاصية وهي خاصية التوازن التي هي بحسب الظاهر في غاية السهولة لها نتائج عظيمة وثمرات جسيمة في علم الميكانيكا والصناعة ولنذكر الخواص الاصلية فنقول

اذا فرض ان هناك ثلاث قوى متوازية كقوي  $S$  و  $V$  و  $Z$  واقعة على ثلاث قطليات على مستقيم واحد (شكل ٨) وان  $AS$  و  $BS$  و  $CS$  دالة على اتجاهات تلك القوى كان لقوتَي  $S$  و  $V$  في مبداء الامر محصلة  $R$  الواقعة على نقطة  $D$  والمساوية  $S + V$  والموضوعة على وجه بحيث يحدث عنه هذا التناسب

$$DA : DB :: S : V$$

ثم يكون لقوتَي  $R$  و  $Z$  محصلة  $U$   $R + Z = U$   $S + V + Z$  تكون نقطة الوقوع وهي  $H$  لمحصلة  $U$  موضوعة بحسب هذا التناسب

$$DH : HT :: R : Z$$

فاذا افترضنا وتغير اتجاه جميع القوى بدون أن يتغير توازيها وكان وضع نقطتي  $D$  و  $H$  غير متعلق باتجاه تلك القوى يلزم أن يكون هذا الوضع باقيا على حالة واحدة وعلى ذلك ففي تغير اتجاه القوى المتوازية الواقعة على  $A$  و  $B$  و  $T$  على أي وجه كان بحيث لا يندم توازيها فان نقطة وقوع المحصلة تكون دائما نقطة  $H$



فاذا كانت القوى اربعا او خمسا او سنا فان نقطة وقوعها لا تتغير ولو تغير اتجاه  
جميع القوى المركبة معا بشرط أن تكون باقية على توازنها  
هذا ويمكن أن نعتبر الجسم كمجموع عدة اجزاء صغيرة مادية مندفعه جهة  
الارض بواسطة قوى اتجاهاتها متوازية تقريبا ويمكن اعتبار تلك الاجزاء  
كالقوى في التوازي بدون خطأ بين

فاذا كان الجسم في وضع وادير الى آخر واقتضى الحال البحث في كل وضع عن  
نقطة وقوع القوة الكلية المحصلة من ثقل كل جزء صغير من الجسم فانما نجد  
دائما نقطة واحدة وهي نقطة شهيرة تعرف بمركز الثقل

وبواسطة التجربة يتحقق من خاصية الاجسام عند تعليقها بحيث في اتجاهات  
مختلفة وتوازنها فيكون هذا الخيط بالبداية تابعا لاتجاه محصلة ثقل جميع  
اجزاء الجسم ويعلم من ذلك انه يكون دائما في اتجاه مار بنقطة منفردة وهي  
مركز الثقل

ونخاصية مركز الثقل بالنظر الى الفنون فوائد عظيمة في تحريك الاجسام  
ولنفرض أن جسما ذا شكل ما يتحرك على مستقيم واحد بدون أن يدور فكل  
من اجزائه الصغيرة التي يطلق عليها اسم العناصر يكون مدفوعا بقوة مناسبة  
اولا للسرعة المشتركة وثانيا لكمة المادة التي يحتوي عليها هذا العنصر  
وفي التحرك المستقيم الذي كلاً منافيه يتحرك كل عنصر على مستقيم واحد  
فيكون مدفوعا بقوة متجهة الى جهة هذا المستقيم ومناسبة اولاً لجسمه  
وثانيا لسرعته

ولنفرض مثلاً جسماً طوله متر واحد فاذا جعلنا هذا الطول قاعدة مثلث  
رأسه في مركز الارض حدث عن ذلك مثلث ليست قاعدته جزءاً من ستة من  
مليون من ارتفاعه ولا يحدث عن ضلعيه الطويلين الدالين على اتجاها للتأقلم  
زاوية مساوية بلزء من مائة من الف من الدرجة الواحدة وهذه الزاوية لا يمكن  
قياسها باعظم الاكالات مع الضغط والحصنة

ولجميع هذه القوى المتقدمة محصلة واحدة موازية لاتجاهها المشترك ومساوية

بمجموعها ومارة بمركزها وهي هنا مركز ثقل الجسم  
وعلى ذلك يتحرك الجسم بهذه المثابة اعني يتبع مستقيما واحدا بدون دوران  
وذلك باحد شروط ثلاثة وهي  
(أولا) أن يكون كل من عناصر الجسم مدفوعا بقوة واحدة مناسبة لجسم  
هذا العنصر ومقجهة الى اتجاه معلوم  
(ثانيا) أن يكون الجسم كله مدفوعا بقوة واحدة موازية لاتجاه معلوم  
ومارة بمركز ثقل الجسم  
(ثالثا) أن يكون مدفوعا بعدة قوى متوازية لها محصلة واحدة مارة بمركز  
ثقل هذا الجسم  
فعلى ذلك اذا اريد منع الجسم الذي يسير الى الامام على مستقيم واحد من  
التحرك بالكلية بواسطة قوة واحدة لزم أن يكون اتجاه هذه القوة مارا بمركز  
ثقل الجسم  
واما اذا اريد منعه عن التحرك بواسطة عدة قوى فياخذ ان تكون محصلة  
هذه القوى مارة بمركز ثقله  
وقد اثبتنا فيما سبق انه اذا على او اسند جسم من نقطة واحدة فشرط التوازن  
أن يكون مركز ثقل الجسم ونقطة التعليق موجودين معا على مستقيم رأسي  
واحد ومق اريد تعليق جسم في وضع معين لزم أن تتوهم مستقيما رأسيا مارا  
بمركز ثقل ذلك الجسم ونضع نقطة الارتباط على الرأس المذكور وسأأتى لك  
في الدرس الذي نتكلم فيه على وضع مراكز ثقل المربع والمستطيل والمعين  
والدائرة والقطع الناقص ونحوها ان البراويز التي تعلق في البيوت وتكون  
على شكل من هذه الاشكال لها نقطة تعليق وارتباط موضوعتان مع مركز  
ثقلها على مستقيم رأسي واحد ومن هذا التمييز النقصات المعلقة في قباب  
الكهاتس ومتوفى المقاعد والدلاء المربوطة بالحبال لاغتراف الماء والتزول  
في المعادن  
وبالجمله فعرفة وضع مركز الثقل على ابدناته الصناعية سواء وضعوا اجساما

ساكنة في وضع معلوم او يدورها على مستقيم واحد بدون دوران او منعوا  
تحرك الاجسام التي تسير بهذه المثابة  
ثم ان جسم الانسان له مركز ثقل كغيره من الاجسام الا ان هذا المركز  
يتغير وضعه مع حركة الانسان عضوا من اعضائه او اجل شيئا ما وذلك لان  
الحامل والمجول معا يعتبران له مامركز ثقل واحد متقرب بمحطة ثقله ونقل حمله  
فاذا وقف الانسان مع الاعتدال والاستقامة التامة ( شكل ٩ )  
( وشكل ١٠ ) امكن أن نعتبر انخصيه كمنقطى وقوع القوى المتوازية  
المؤثرة من اسفل الى اعلا والدالة على قوة مقاومة الارض التي يكون بها  
هذا الانسان وجميع قوى المقاومة محصلة واحدة رأسية واقعة على نقطة  
معلومة كنقطة أ

ولاجل توازن ذلك يلزم أن تكون المحصلة مارة بنقطة  $\bar{x}$  التي هي مركز  
ثقل الجسم الانساني لان هذا الجسم بدون ذلك يكون مجنوبا الى الجهة  
التي يكون بها مركز ثقله ويكون محقق الوقوع مالم يبادر بتوصيل هذا المركز  
الى وضع محصلة قوى المقاومة الرأسى بأن يميل ببعض اعضائه الى الجهة المتعاكسة  
لجهة السقوط

فاذن يلزم ان مركز ثقل الجسم الانساني يعتبر كأنه يتغير في كل وقت تقريبا  
بالتحركات التي تستدعيها حاجة الانسان او حفظه

ومن الملم في القنون المستترة وفي كثير من فروع الصناعة معرفة الاوضاع  
المتنوعة التي يمكن أن يأخذها مركز ثقل الانسان

فيفتني للمصورين والنفائين أن يعرفوا هذه الاوضاع معرفة كافية  
حتى لا يضعوا اشكالها في وضع فاسد اي في وضع لا يمكن للانسان  
أن يقف فيه مع الاستقامة بدون أن يسقط ولا شأن أن هذا العيب كاف  
في الاخلال بجودة الصناعة وضياع انظام القنون المستترة

فاذا فرض ان بعض المصورين رسم صورة انسان حامل على ظهره  
( شكل ١١ ) حلا كبيرا وجعله في وضع تام الاستقامة كان ذلك

مخالفة القوانين الميكانيكا والحقيقة الرصد (وقدر من في جميع ما يأتي من العبارات والاشكال بحرف غ الى مركز ثقل الجسم الانساني وبحرف غ الى مركز ثقل الحامل والمحمول معا)

وبالجملة فالتوازن يقتضى ان نقطة غ التي هي مركز الحامل والمحمول الاعتباري بجسم واحد تكون على المستقيم الرأسي الحادث عن انحنى الانسان لاجل المتساوية لكن اذا كان الانسان معتدلا وكان مركز الثقل يميل الى جهة الخلف حتى يخرج عن المسافة المشغولة باخصى الرجلين فانه حينئذ يقع هو ومحموله الى جهة الخلف

وللعتال معرفة تامة بهذه الفائدة الميكانيكية فانه بمجرد ما يضع الحمل على ظهره يشرع في امالة الجزء الاعلى من جسمه الى الامام كما تراه في (شكل ١٢)

ليكون مركز الثقل المشترك بين الجسم والحمل على مستقيم رأسي لانه فاذا كان الحمل باقيا على ثقله فانه كلما كان مركز ثقله بعيدا عن مركز ثقل جسم الحامل كان المركز المشترك بينهما ماثلا الى الخلف وكان العتال مجبورا على أن يميل الى الامام ولا يزال كذلك حتى ينتهي امره الى اخذ وضع متعب وربما تعذر اذا كان الحمل عظيم الحجم كما تقدم في (شكل ١٢)

فاذا كان الجسم مسطوحا من جهة وعريضا من اخرى فان العتال يستند بالجهة المسطحة على ظهره و يتقل حينئذ مركز ثقل الحمل الى الامام مهما امكن وبذلك يمكنه عند حمل ثقل معلوم أن يميل قليلا بقدر الامكان ليكون متوازما مع الحمل

ومن الاتقال التي لاتعد خفيفة جريدة العسكرى التي يعملها على ظهره وقد كانت البرونيات القديمة المدببة بالكلية ينشأ منها ضرر كالضرر الناشئ عن الحمل المذكور في (شكل ١٢) فكان مركز ثقلها ماثلا الى الخلف بالكلية فبذلك كان الراجل مجبورا على أن يكون الجزء الاعلى من جسمه ماثلا الى الامام بالكلية حال السير وكان ذلك بموجب قوانين صعبة صادرة عن امر غوطية فلما تفكروا في خواص مراكز الثقل ادركوا فائدتها

وصنعوا للعساكر جريديات عريضة ومسطحة (شكل ١٣) مركز  
قلها ميل الى الخلف قليلا اذا جعلها العساكرى على ظهره من جهتها  
العريضة وهذا التخصيف الضروري معدود من العمليات السهلة المتعلقة  
بقضية مركز الثقل النظرية وكان العساكر قبل هذه الجريديات  
يقربون يحملون على ظهورهم مع المشقة جريديات ردة الشكل

وقد ينشأ عن الحمل الموضوع في جهة الامام تأثير مضايحج الحمل على الميل  
الى جهة الخلف لاجل أن يحفظ التوازن على قدميه مالم يقصد وضعا لا يمكن  
الاقامة به دون أن يكون عرضة السقوط (شكل ١٤)

فانظر الى بائعة السمك (الافرنجية) مثلا (شكل ١٥) فانك تجد حملها  
المربوطة بالاربلية معلقة امامها تطبيقا احتياوتراها عند الوقوف على غاية  
من الاعتدال الا أن اعلى جسمها يكون مائلا مع رأسها الى جهة الخلف  
ولما كانت في الغالب تستند يديها على فخذيها كان ذراعاها ايضا مائلين الى  
تلك الجهة وهذا العادة وان كانت جارية في الناس لقصد حيالة الهيبة والوقار  
الا ان هذه المراتم تكن تفعلها الا ليكون مركز ثقل جسمها وذراعيها مائلا  
الى خلف بقدر الامكان لتوازن حملها

وكذلك الحبلبي (شكل ١٨) فانها اذا عظم حملها وتقل تكون مجبورة  
كبائعة السمك على امالة اعلى جسمها الى الخلف ولو حرت العادة بانها حال المشي  
تستند يديها على فخذيها حتى يكو ذراعاها مائلين الى الخلف لكات  
في الغالب غشي مشيا قويا

وكذلك من تجاوزوا الحد في الغلظ (شكل ١٧) فانهم مجبورون  
على الاستقامة والاعتدال على الوجه الذي عليه السماكة والحبلبي  
واذا اريد امالة ثقل جسم الى جهة الامام لزم تقديم الارجل كثيرا نحو تلك  
الجهة وامالة منتصف الجسم الى جهة الخلف بالكلية ليكون مركز الثقل  
مائلا الى خلف بقدر الامكان (شكل ١٦)

وقد ذكر حنايا كرسو أن النساء لا يعرفن كيفية الجرى وانهم يمدون

في تلك الحالة اذرعهن الى خلف لانهن عند الجرى يملن باعلى جسمهن الى الامام بالكلية وذلك يستلزم استعمال الاذرع المتتمة لاجل التوازن فاذا كان السقام (الافرنجي) يحمل باحدى يديه ولولا واحدا (شكل ٢٠) فان مركز ثقل الحامل والمحمول لا يكون مائلا الى جهة الخلف ولا الى جهة الامام كما في الصور للتتمة وانما يكون مائلا الى جهة غيرهما وحيث يلمسه ان يميل الى الجهة المتعابلة لتلك الجهة وذلك يوجب التعب دائما ومن هذا القبيل ايضا المرضع التي تحمل الطفل على احدى ذراعيها (شكل ١٩) ومثل هذه المشاق الخالية عن الحدوى يفتنى اجتنابها واستبدالها بكيفية اخرى بأن يجعل الانسان ما يحمله على جرمين متقابلين من جسمه بالسوية فيحمل السقام مثلا دلوين (شكل ٢٢) والمرضع طفلين متساويين في الثقل (شكل ٢١)

ونفسا ضعيفات يحملن على رؤسهن مع السهولة انما لاجسية (شكل ٢٣) بحيث يكون مركز ثقل الحمل في الوضع الرأسي مع مركز ثقل الجسم فيكون مركز ثقل الحامل والمحمول مرتعا لكنه يكون دائما على رأس واحد فان لا تحتاج المرأة الحاملة الى الميل من اى جهة كثرت لاجل حفظ وازن وضعها الطبيعي

واول ما اخترعه الناس من المختراعات الميكانيكية بعد ان كانت اشغالهم لا طائل تحتها هو الخرج الذي له جهة واحدة او جهتان متساويتان وهو مستعقب من وسطه ليدخل به الجاني رأسه (شكل ٢٤) فاذا جى الخراج وضعوه في جهتي الخرج القذامية والخلفية حتى يمتلا بالسوية بحيث لا يغير مركز ثقل الحامل والمحمول وضعه الرأسى بل يبقى عليه دائما وحيث فيمكن في استعمال الخرج المذكور ان يوضع في جهتيه بدون منقعة حمل عظيم

فاذا فرضنا ان انسا فاقب على رجله مع الاعتدال ثم رفع احدهما على حين غفلة وصار واقفا على رجل واحدة فان بقى جسمه على اعتداله فلا شك انه يقع من جهة الرجل المرفوعة فيازمه لاجل منع هذا الوقوع ان يميل بجسمه قليلا

الى جهة الرجل الثابتة في الارض بحيث يكون مركز الثقل موضوعا على  
المستقيم الرأسى المار بالجزء المشغول بهذه الرجل من الارض  
فمن ثم كان الناس في حال المشى يميلون قليلا بدون اشعار الى جهتي اليمين والشمال  
بالتعاقب على حسب ارتفاع الرجل اليمنى او اليسرى ( شكل ٢٥ )  
وقد يكون هذا التحرك المتعاقب محسوسا للانسان بالكلية اذا وقف أمام بلوك  
من العساكر سائر على صف واحد بالساوى وذلك لانه يرى ان هذا البلوك  
يميل ذات اليمين وذات الشمال عند قتل كل خطوة مع غاية الانتظام والاتحاد  
في السير

فيكون هذا التحرك الخفيف الحاصل ذات اليمين وذات الشمال الذى ينشأ عنه  
وضع مركز الثقل الثابت في غاية الصعوبة والمشقة على شخصين كل منهما  
قايض على ذراع صاحبه وماس مع النشاط والخفة مالم يسيرا على مهل معا  
فان مركز قتل احد هما بدون ذلك يكاد يقع جهة الشمال تحقيقا متى كاد  
مركز قتل الاخر يقع جهة اليمين وبناء على ذلك اذا كانت رجلاهما الداخلتان  
موضوعتين على الارض فان هذين الشخصين يتصادمان او يتدافعان  
واما في صورة العكس وهى ما اذا كانت رجلاهما الخارجتان على الارض  
فانهما يتجاذبان ويكادان أن يتصلا عن بعضهما وبذلك يكون ذراعاهما  
في غاية التعب

وقد ترتب على ما ذكرناه من الادلة في شأن العساكر المشاة الذين يلزمهم بموجب  
الترتيب الحارارى الآن أن يسيروا مع تماس اذرعهم بعضها البعض منفعة عظيمة  
وهى جبر جميع الناس المتماسين على أن يسيروا معا قدم ما قدم لانه بدون ذلك  
لا يمكن استمرار اذرعهم على المعاسة حيث انه اذا مال انسان منهم بحججه  
الى الجهة اليمنى مال الاخر بحججه الى اليسرى فيقتل صفهم وتتفرق جمعيتهم  
ولاجل حصول الانتظام والاتحاد في جميع الحركات بمجرد الشروع في السير  
يجب على العساكر جميعا أن يبدؤا بتمرير رجل واحدة وهى اليسرى حسبما هو  
متفق عليه ومن هنا تعلم ان الباعث لهم على قتل رجل واحدة عند السير المنتظم

من متعلقات قضية مركز الثقل النظرية

هذا ويظهر في فن الرقص من تطبيقات هذه القضية وعلاقتها ما هو أكثر تنوعا من السير وليس هذا محل البحث عن دروس معلى الرقص الرموزى او غيره من انواع الرقص حتى تتعرض فيه لذكر هذه التطبيقات لكن حيث اتينا بصدد الكلام على قاعدة التحرك وهو موجود في السير والرقص والتزلن على النمط والونوب حتى أن تسكلم هنا على التطبيقات المذكورة فنقول

إذا فرض أن الراقص او البهلوان رفع رجله اليمنى من الجهة اليمنى مثلا ووجب عليه في الحال أن يميل جزأ من جسمه الى الجهة المقابلة لتلك الجهة حفظا للتوازن لكن حيث كان يلزم أن تحركت الجسم تكون صغيرة مهما امكن ليكون ما يذل في ذلك من الجهد قليلا غير ظاهر مع السهولة وانخفض لزم أن يمد الراقص او البهلوان ذراعه الايسر الى الجهة اليسرى فإذا كنت الرجل اليمنى متأخرة الى خلف لزم أن يكون الذراع الايسر متقدما الى أمام فيكون على صورة مركور (اي عطاردي) الطيار الطيفة (شكل ٢٦) وعلى صورة رؤمية ايضا (اي الشجرة)

واما مقابلة تحركات الاذرع تحركات الرجل لحفظ مركز الثقل على رأسى واحد فذلك مما لا بد منه لتطامى الحبال الذين يتطون بلاميزان معهم فيكون التحرك حيث يشاء محسوسا مشاهدا والفرض الا على من الميزان المذكور هو تحويل مركز ثقل الجسم والميزان معا على رأسى مار بالحبل

وكثيرا ما عاينت اساسا يمشون مع الجملة ويجزون اذرعهم بكثرة ويطرحونها الى اى جهة من الجهات عوضا عن كونهم يطرحونها الى الخلف او الى الامام كما هي عادة معظم الناس \* و بموجب المعطيات المقررة في شأن الطريقة التي يكون فيها مركز الثقل مائلا في كل خطوة الى جهة الرجل الثابتة على الارض يرى أن الاذرع تميل بواسطة التحرك الطبيعي الى جهة الرجل المرتفعة لاجل تحويل مركز الثقل الى اتجاه السير فهو لاء الناس الذين يراعون هذه المعطيات يكونون في مشيهم أكثر استقامة واعتدالا من الاول



ثمان مراعاة مركز الثقل هي من اهم الاشياء في فن ضرب الشيش  
 فاذا كان ثقل الجسم مائلا كما هو العادة الى الارجل اليسرى المتأخرة الى خلف  
 لزم أن يكون مركز ثقل الجسم موضوعا على مستقيم رأسي مارداً بالرجل  
 المذكورة وهذا بعينه هو الذي يجبر الانسان على أن يميل كثيراً باعلا جسمه  
 الى خلف ويمتد به اليسرى الى تلك الجهة لاجل توازن الذراع الايمن والساق  
 الايمن المتقدمين الى امام وبالجملة فادنى ضربه من الشيش المعد للتعليم تقلب  
 الصارب اذا كان مركز ثقله مائلا جداً الى خلف وفي صورة العكس وهي  
 ما اذا كان المركز المذكور مائلا الى الامام يحصل للضارب تعب عظيم متى مال  
 بجسمه الى خلف وربما كان عرضة للخطر يبطى هذا التحرك  
 وسيأتى في الدرس الذي تكلمنا فيه على تحرك الدوران ان مركز الثقل لها  
 تأثير مهم في التحرك المذكور كما ان لها تأثيراً مهماً في التحرك المستقيم

### \*(الدرس الرابع)\*

\*(في بيان مراكز ثقل الآلات ومحصلات الصناعة وفي كمية القوى)\*

اعلم ان ما سلفناه من الامثلة في الدرس المتقدم يكفي دليلاً على ان من اهم  
 الاشياء في كثير من الفنون والصنائع تعيين الوضع الحقيقي لمركز ثقل  
 من الاجسام المتنوعة الشكل وكذلك تعيين مركز ثقل الاجزاء الثابتة  
 والجزء المتحركة من سائر الآلات

فانما وسقت عرصات هاتين فلا بد أن لا يكون ثقل الجمل موضوعاً امام المحور  
 ولا خلقه لانه في الصورة الاولى ان لم تنقلب القوس من الجمل يلحقها مشقة عظيمة  
 بدور أن يتصرف شيء من الجهد والتعب اللازم بلتر العربة وفي الصورة الثانية  
 يكون ثقل المؤخر اعظم من ثقل المتقدم فان لم تضطرب العربة بذلك وتزول  
 ارتفع القوس وصار بعيداً عن الارض وربما ترتب على هذا الجهد والمشقة  
 خطر عظيم عند الصعود على جانب جبل مضرر فخذوا بنا

ولا بد في عمارة السفن واتظام وسقها وتصويرها ولوازمها وادواتها من حساب  
 وضع مركز ثقل كل جزء من السفينة وكل شيء احتوت عليه لاجل معرفة

مركز ثقل الجميع ولاجل التحقق من استيفائها لشروط التوازن والنبات  
كما سيأتي (في الجزء الثالث عند ذكر القوى المتحركة)

فإذا كان ثقلان متساويان ومعتبران كنقطتين ماديتين مربوطتين بطرف في قضيب  
غير لين وفرضنا أنه لا تناقل له فإن مركز ثقل مجموعهما يكون في منتصف  
المستقيم

ونقطة  $غ$  التي هي مركز ثقل مستقيم  $أب$  مستقيم  $أب$  (شكل ١)  
المبين بسلك معدني متصل السمك في جميع جهاته موضوعة في منتصف طول  
هذا المستقيم لأنه إذا علق من منتصفه فلا داعي لأن تكون إحدى جهتيه  
أرجح من الأخرى بل يكون التوازن باقيا على حالة واحدة مهما كان ميل هذا  
المستقيم والنقطة التي يكون هذا التوازن الثابت حاصلًا حولها هي مركز  
ثقل المستقيم المذكور

فلا خلاف أنه إذا وضع منتصف قضيب  $أب$  في منتصف السمك في جميع طوله على طرف  
اصبع أو على طرف شيء ما فإنه يكون متوازنا وكذلك إذا علق من منتصفه  
وسيا في عند الكلام على الرافعة أن نوازن الميزان من جملة تطبيقات هذه  
القاعدة

ونفرض الآن أن المطلوب مركز ثقل مجموع مستقيمي  $أب$  و  $ش$   
(شكل ٢) المتضمني التناقل في جميع طولهما بحيث تكون أطوالهما  
دالة على كليهما

فيكون أن نعتبر أن ثقل مستقيم  $أب$  محصور في منتصفه وهو نقطة  $هـ$   
وثقل  $ش$  محصور أيضا في منتصفه وهو نقطة  $ف$

فيحدث بذلك قوتان متوازيتان أحدهما واقعة على  $هـ$  والأخرى على  $ف$   
وكثافتهما يادل عليه  $أب$  و  $ش$  فتكون محصلتهما مدلولاً عليهما

بمجموع  $أب + ش$  وتكون نقطة وقوعهما وهي  $س$  على  
مستقيم  $هـ ف$  مبنية بهذا التناسب وهو

$$أب : ش :: ش : ش هـ$$

الذي يمكن وضعه بهذه الصورة

أب + شد : أب :: ش ف + ش ه أو ه ف : ش ف  
وينتج من ذلك أن

$$\frac{\text{أب} \times \text{ه ف}}{\text{أب} + \text{شد}} = \text{ش ف}$$

وبذلك يعلم مقدار الحد الرابع من هذا التناسب (كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

ويسهل بالقاعدة التي ذكرناها اقامة معرفة مركز ثقل المستقيمت الثقبية وذلك بأخذها مني فإذا كان المطلوب مثلاً تحصيل مركز ثقل مستقيمت متألها منها كثير الاضلاع مستقيم مثل أب شد (شكل ٣) فأنك تأخذ قطب تصنيف اضلاع أب و بث و شد الخ وهي أ و ب و ث الخ فبواسطة القاعدة المتقدمة تجد على مستقيم أ نقطة مر وهي مركز ثقل مستقيمت أب و بث وإذا مددت مستقيم مرث واعتبرت أن ثقل مستقيمت أب و بث محصور في نقطة مر التي هي مركز ثقلها كانت نقطة مر مركز ثقل أب + بث و شد فبعد أيضاً أن نقطة ز مركز ثقل أب + بث + شد و دا فتكون هذه النقطة مركز ثقل المستقيمت الاربعة وهي أب و بث و شد و دا

وعما يقع التلامذة غمزهم على عمل كثير الاضلاع مثل أب شد الخ من سلك حديد يربطون به خيوطاً من حرير كخيوط أ و مرث و ه الخ فيبدون وضع مركز ثقل كثير الاضلاع المذكور على غاية من القسبط ثم يعلقون هذا الشكل بخيط جديد على التوالي من نقطة أ ومن نقطة ب ومن نقطة ث وهكذا فيرون أن الشاقول الموضوع بجوار خيط التعليق يمر دائماً بمركز ثقل كثير الاضلاع المذكور فيتصورون حينئذ بالتجربة خاصية مراكز الثقل قصورها وأنها سهلا وبهذا التمرن يعرفون عملية مفيدة جداً

ويجبرون على ممارسة المساعدة الهندسية المقررة في شأن المستقيمات المناسبة  
(كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

وقد بسطنا الكلام في البرزخ المتعلق بالهندسة على شكل الخطوط المتماثلة  
والسطوح المتماثلة والججوم المتماثلة وخواصها  $\Gamma$  والاهتمام بمئات الاشكال من  
اعظم ما يكون عند الميكانيكي والمهندس وان كان الصنعية لا يهتمون  
بهذا الغرض

وليكن كما في (شكل ٤) شكل استدارة  $\Delta$  مثلثا متماثلا  
بالنسبة لمحور  $AA'$  ولنكن نقطة  $\Gamma$  مركز ثقل محيط استدارة  
الموضوع على شمال محور التماثل

فاذا تينا جزء الشمال على جزء معين فانهما ينطبقان على بعضهما انطباقا تاما  
وحيث انهما لا يختلفان لافي المقدار ولا في الصورة ولا في الوضع لزم أن يكون  
مركز ثقلهما موجودا في نقطة واحدة فاذن تكون نقطة  $\Gamma$  التي هي مركز  
ثقل استدارة  $\Delta$  في وضع متماثل بالنسبة لنقطة  $\Gamma$  بمعنى ان  $\Gamma$  و  $\Gamma'$   
يكونان على بعد واحد من المحور وموضوعين على مستقيم  $\Gamma\Gamma'$  العمودي  
على هذا المحور وحيث ان محيط استدارة  $\Delta$  و استدارة  
المتماثلين متساويان في الثقل كما مدلولاهما عليهما بقوتين متساويتين احدهما  
واقعة على  $\Gamma$  والاخرى على  $\Gamma'$  وكانت محصلتهما المساوية لمجموعهما  
واقعة على منتصف مستقيم  $\Gamma\Gamma'$  اعني في نقطة  $\Gamma$  على محور التماثل  
فاذن ثبت المطلوب

ومركز ثقل اي خط متماثل يكون بالضرورة موضوعا على محور التماثل  
ولتنبه على ان السطح المستوي المنتهي بمحيط متماثل يكون متماثلا بالنسبة  
للمحور المنتهية كالمحيط المذكور  
ويمكن أن يفرض أن هذا المحيط ينتهي به السطح المستوي الثقيل في جميع  
جهاته كشرخ من ورق اولوح من معدن فاذا كانت نقطتا  $\Gamma$  و  $\Gamma'$   
دائتين على مركزي ثقل السطحين الموضوعين على بين محوري التماثل وشمال

فان مستقيم  $\overline{غ غ}$  يكون عمودا دائما في نقطة  $\overline{غ}$  على المحور ويكون  
 $\overline{غ غ} = \overline{غ غ}$  فاذن يكون مركز ثقل كل سطح مستويا متماثلا  
 موضوعا على محور التماثل واذا علق في نقطة من المحور برأى ذات شكل ما لكها  
 متماثلة فان محور التماثل يكون موجودا دائما في وضع رأسي وبالجملة فنقل  
 الشكل المذكور يكون مؤثرا كما لو كان محصورا كله في مركز الثقل وزيادة  
 على ذلك يكون اتجاه هذه القوة الرأسى مازا فرضا بنقطة التعليق والارتباط  
 الثابتة فاذن تعدد القوة بالمانع المذكور (وهو التعليق) وعليه فيكون  
 البرواز متوازنا

والمنازل الافرنجية من خرفة بكثير من البراويز المتماثلة اياتا كان شكلها  
 ونقطة تعليقها موضوعة على محور التماثل لانه ان لم يكن وضعها بهذه المثابة  
 كانت قبيحة المنظر

ولنذكر هنا بعض امثلة سهلة لاجل ايضاح الملاحظات العامة التي استلناها  
 ونرمز بحرف  $\overline{غ}$  في جميع الاشكال الآتية الى مركز الثقل فنقول

ان  $\overline{غ}$  الذي هو مركز ثقل المحيط او سطح البرواز المثالي المتماثل مثل  
 $\overline{ا ب ت}$  (شكل ٥) يكون موضوعا على رأسي مازا بنقطة  $\overline{آ}$  التي هي  
 رأس مثلث  $\overline{ا ب ت}$  وبمنتصف قاعدته وهي  $\overline{ب ت}$  فاذا علق هذا  
 البرواز من نقطة  $\overline{آ}$  التي هي رأس ذلك المثلث (شكل ٥) او من نقطة  
 $\overline{د}$  التي هي منتصف قاعدته وهي  $\overline{ب ت}$  (شكل ٦) وكانت هاتان  
 النقطتان موضوعتين على محور التماثل فان وضع توازن البرواز المذكور  
 يكون عين الوضع الذي يصير فيه محور  $\overline{آ د}$  رأسيا واذا علق برواز على شكل  
 شبه المنصرف المتماثل وهو  $\overline{ا ب ت د}$  وكان تعليقه أولا من نقطة  $\overline{ه}$   
 التي هي منتصف قاعدته الصغرى وهي  $\overline{ا ب}$  كما في (شكل ٧) وثانيا  
 من نقطة  $\overline{ف}$  التي هي منتصف قاعدته الكبرى وهي  $\overline{ب ت د}$   
 كما في (شكل ٨) فان التوازن يستلزم أن محور التماثل وهو  $\overline{ه ف}$   
 المحتوى على  $\overline{غ}$  التي هي مركز ثقل المحيط ومركز ثقل سطح شبه المنصرف

يكون موجودا في وضع رأسي وما ذكرناه من البرهنة على أن مركز ثقل المحيط المستوي والمسطح المستوي المتماثلين بالنسبة لمحور ما يكون موضوعا بالضرورة على هذا المحور يمرى ايضا في الاشكال المنتهية بخطوط مستقيمة او منحنية ومن هنا تحدث الدعاوى الاتية وهي

كل قوس قوس دائرة  $AB\Gamma$  (شكل ٩) يكون متماثلا بالنسبة لتصف القطر وهو  $OB$  المار بمنتصف هذا القوس فاذن تكون نقطة  $غ$  التي هي مركز ثقل المحيط او سطح قوس الدائرة المذكور موضوعة على نصف قطر  $OB$  وبناء على ذلك اذا علق قوس دائرة  $AB\Gamma$  من منتصفه وهو  $B$  كان طرفاه وهما  $A$  و  $\Gamma$  على افق واحد ومتوازيين (وينبغي التنبيه على أنه لا يكون لمركز الثقل في قوس الدائرة ولا في شبه المنحرف وضع كوضع مركز سطحهما)

ويمرر ذلك في مسطح قطع  $AB\Gamma$  وفي مسطح قطاع  $AB\Gamma$  واذا انعكس الشكل حدث وضع ثان للتوازن (شكل ١٠) فاذنا كانت نقطة التعليق دائما على نصف قطر  $OB$  فانه يكون في هذه الصورة كالتي قبلها باقيا على وضعه الرأسي

وحيث ان القطع المكافئ والقطع الزائد متماثلان بالنسبة للصورتين المار برأسيهما فاذا اخذ بالابتداء من رأس  $B$  التي هي احد رأسي هذين المنحنيين (شكل ١١) جزأ  $BA$  و  $B\Gamma$  للتساويان من هذا المنحنى فان مركز ثقله يكون على المحور فاذا علق حيثئذ هذا المنحنى من رأسه وهو  $B$  فانه يكون متوازنا متى كان محور  $BCD$  تابعا لاتجاه رأسي

وهناك اشكال لها محورا تماثل مثل  $AB$  و  $CD$  كالمستطيلات (شكل ١٢ و ١٣) والمعينات (شكل ١٤ و ١٥) ففي هذه

الاشكال يكون مركز الثقل وهو  $غ$  الذي يلزم أن يكون موجودا على كل من محورى التماثل في نقطة  $غ$  المشتركة بينهما اعني في مركز التماثل

فأذن يكون مركز ثقل المحيطات والمسطحات المتماثلة بالنسبة لمحورين موجودا في نقطة تقاطع هذين المحورين اعني في مركز التماثل  
والاشكال الكثيرة الاضلاع المنتظمة كلها متماثلة بالنسبة لعدة محاور ويظهر من ذلك كثير من نقط التعليق المتماثلة المتنوعة بقدر ما يوجد من محاور التماثل  
فأذن يكون مركز ثقل المحيط ومركز ثقل الاشكال الكثيرة الاضلاع المنتظمة كلاهما موضوع في مركز ثقل تماثل الاشكال الكثيرة الاضلاع المذكورة  
والتقطع الخاص تماثل (شكل ١٦ و ١٧) بالنسبة لمحوريه وهما  
أ ب و ش د فأذن تكون نقطة غ هي مركز ثقل محيط انقطع  
النقص المذكور ومسطحه موجودة في مركز تماثل هذا المنحني  
والدائرة (شكل ١٨) متماثلة بالنسبة لكل من قطريها وهما أ ب و ش د  
وعليه فيكون مركز ثقل المحيط ومسطح الدائرة موجودا في مركز الدائرة  
وفي اي نقطة من محيط برواز كثير الاضلاع منتظم او محيط قطع ناقص او محيط  
مستدير متعلق به هذا البرواز يكون مركز التماثل دائما في وضع رأسي  
مع نقطة التعليق

\*( بيان مركز ثقل السطوح ) \*

لأجل تعيين وضع هذا المركز يفرض أن السطوح كافرغ من الورق او الواح  
من المعدن رفيعة جدا ومتحدة السمك في جميع جهاتها وثقيلة المسطح

\*( بيان مركز ثقل المثلث ) \*

إذا كان المطلوب تحصيل مركز ثقل سطح مثلث كمثلث أ ب ث (شكل ١٩)  
فإن هذا المثلث يقسم الى عدة قضبان متوازية ومتقاربة من بعضها جدا بحيث  
يمكن اعتبارها كاستقيبات ثقيلة فيكون مركز ثقلها موجودا على مستقيم أ ه  
الذي يشطعها كلها من منتصفها بموجب خاصية الخطوط المتناسبة فأذن يكون  
مركز مجموعها وهو غ اعني مركز المثلث الكلي على مستقيم أ ه الواصل  
من أ الى منتصف ب ث وبمثل ذلك يبرهن على أنه يكون موجودا  
على ب ف وعلى ث ك الواصلين من ب ومن ث الى

منتصفي  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\beta}$  فاذن يكون مركز ثقل المثلث موجودا في نقطة  $\overline{غ}$  المشتركة بين خطوط  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\gamma}$  الثلاثة ولكن حيث ان تقاطع  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\beta}$  موجودان في منتصف  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\gamma}$  فان مستقيم  $\overline{ا\theta}$  يكون موازيا للمستقيم  $\overline{ا\theta}$  فيحدث حيثئذ عن هذه الخطوط (كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة) هذا التناسب  
 $١ : ٢ :: \overline{ا\beta} : \overline{ا\gamma} :: \overline{ا\theta} : \overline{ا\theta} :: \overline{ا\theta} : \overline{ا\theta}$   
 فاذن يكون  $\overline{ا\theta} = \frac{1}{2} \overline{ا\gamma}$  و  $\overline{ا\theta} = \frac{1}{2} \overline{ا\theta}$   
 وبناء على ذلك يكون مركز ثقل المثلث موضوعا أولا على المستقيم الواصل من رأسه الى منتصف قاعدته وثانيا في ثلث هذا المستقيم بالابتداء من القاعدة

(بيان مركز ثقل ذى اربعة الاضلاع وهو  $\overline{ا\beta\gamma\delta}$ )\*

اذا اريدت تحصيل هذا المركز (شكل ٢٠) عين من مبداء الامر مركزا مثلثي  $\overline{ا\beta\gamma}$  و  $\overline{ا\delta\theta}$  وذلك بايصال  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\delta}$  الى منتصف  $\overline{ا\theta}$  واخذ  $\overline{ا\theta} = \frac{1}{2} \overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\theta} = \frac{1}{2} \overline{ا\delta}$  ثم اذا وصل كل من تقاطع  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\theta}$  بمستقيم و  $\overline{ا\theta}$  بمحصوله قوتى  $\overline{ا\theta} = \overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\theta} = \overline{ا\theta}$  اذ  $\overline{ا\theta}$  الواقعتين على تقاطع  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\theta}$  فاذن تكون نقطة  $\overline{ا\theta}$  التي هي نقطة وقوع المحصلة مركز ثقل الشكل ذى اربعة الاضلاع المذكور

ومن السهل تحصيل مركز ثقل الاشكال ذوات اربعة الاضلاع التي بها نوع انتظام

وفي شبه المنحرف وهو  $\overline{ا\beta\gamma\delta}$  مثلا (شكل ٢٢) يكون مركز الثقل وهو  $\overline{ا\theta}$  موجودا على مستقيم  $\overline{ا\theta}$  الذي يقسم جميع المستقيبات الموازية للقاعدتين الى اجزاء متساوية ومركز ثقل سطوح متوازي الاضلاع والمعين والمستطيل والمربع يكون في نقطة تقاطع اقطارها كما تنقسم في (شكل ٢١) و (شكل ١٤ و ١٥) وغيرها



وذلك لان كل قطر يقسم هذا الاشكال الى مثلثين متساويين والقطر الثاني  
القاطع للاول من منتصفه يحتوى على مركزى نقل هذين المثلثين فاذن يكون  
مركز نقل كل من الاشكال المذكورة موجودا على القطر الثاني وبمثل ذلك  
يبرهن ايضا على انه يكون موجودا على الاول فاذن يكون موجودا على كل  
من القطرين المذكورين وبناء على ذلك يكون موجودا في نقطة تقاطعهما  
فاذا قسم اى سطح تماثل مستويا كان او منحنيا (شكل ٤) بنصفين  
متوازيين وعمودية على محور التماثل فان مركز نقل كل قضيب يكون موجودا  
على مستوى التماثل او محوره فاذن يكون مركز نقل السعة المتماثلة موجودا  
على مستوى التماثل او محوره

ومنى كان لسعة محورا او مستويا تماثل فان مركز نقلها يكون في نقطة تقاطع  
المحورين المذكورين التى هى مركز الشكل

وبناء على ذلك يكون مركز النقل في السعات المستوية التى لها محورا تماثل  
موجودا في مركز التماثل كما تقدم اثبات ذلك في الكلام على المحيطات المتماثلة  
ولنشرع الآن في ذكر السعات والسطوح المنحنية فنقول

ان السطح المنحنى او المركب من عدة مستويات يكون متماثلا بالنسبة لمحور  
منى كان لسلط قطع حادث من السطح عمودى على هذا المحور مركز تماثل موضوع  
على المحور المذكور وكذلك يكون الجسم المحدد بالسطح التماثل متماثلا بالنسبة  
لهذا المحور

فاذا فعل في السطح او الجسم عدة قطوع عمودية على المحور وقريبة من بعضها  
قربا كليا فانه يمكن اعتبار قطوع ذلك الجسم كسطوح بسيطة ثقيلة مركز تماثلها  
موضوع على المحور المذكور وحيث ان تلك القطوع تكون محملة نقلها موضوعة عليه  
وتكون محصلة هذه القطوع مارة كلها بالمحور المقروض رأسيها فاذن تكون  
المحصلة الكلية متجهة على هذا المحور وبالتالى فتكون مركز نقل الجسم  
والسطوح المنحنية التماثلة بالنسبة لمحور موضوعة على محور التماثل المذكور  
ومنى كان الجسم محورا تماثل كان له مركز تماثل موجود على هذين المحورين

وهذا المركز يكون ايضا مركز ثقل السطح او الجسم  
ويظهر لنا من الفنون كثير من الاشكال التي لها محاور تماثل كسائر سطوح  
الدوران فانها متى علفت من نقطة من محورها كان وضع توازن السطح او الجسم  
عن الوضع الذي يكون به المحور رأسيا  
والنصفاء المعلقة بجبل او سلسلة في البيوت والسرائيات والهيكل متماثلة دائما  
بالنسبة للمحور وذلك ان النصفه تكون مربوطه في نقطة مامن قطع هذا المحور  
ويكون للمحور المذكور في وضع التوازن وضع رأسي ومن هذا القبيل شاقول  
أب (شكل ١٨ مكرر) فان ثقله وهو ب جسم متماثل بالنسبة  
للمحور المربوط به خطه  
وليس كون المحور رأسيا مقصورا على الحالة التي تكون فيها النصفه ساكنة  
بل يكون كذلك في صورتين ايضا احدهما اذا كانت النصفه هابطة او صاعدة  
ومررت نقطة ارتباطها بآخر كلا أسيا والثانية اذا كانت تدور على قسم افتكون  
حيثئذ باقية على وضعها الرأسي ما لم يعرض لها اصطدام تميل به من احدى  
جهاتها  
ومن هذا القبيل ايضا الشاقول وبذلك الخاصية يتحقق العمل  
وسياق ان الصناعة اكتسبت عدة عمليات عقلية من خاصية محاور التماثل  
وهي احتواء هذه المحاور على مركز ثقل الاجسام ولذا كقبل التوغل  
في ذلك خواص اخرى مهمة جدا تتعلق بالقوى المتوازية وبمركز الثقل  
فنقول

\*(بيان مقادير القوى المتوازية)\*

مق كان قوتان  $S$  و  $s$  (شكل ٢٤) المتوازيتين الواقعتين  
على قطعتي  $A$  و  $B$  من مستقيم  $AB$  محصلة كمحصول  $R$  واقعة  
على  $AB$  في نقطة  $O$  حدث  
 $S \times OA = s \times OB$  اي  $S : s :: OB : OA$   
فاذا مددنا مستقيم  $M$  و  $N$  عمودا على الجمله القوتين المتوازيتين

حدث هذا التناسب وهو  $\overline{و ب} : \overline{و ا} :: \overline{و د} : \overline{و م}$   
 كما تقدم (في الدرس الخامس من الهندسة عند ذكر الخطوط المتناسبة)  
 وبناء عليه يتبدل التناسب المتقدم بهذا التناسب وهو

$$\overline{س} : \overline{ص} :: \overline{و د} : \overline{و م}$$

الذي يحدث منه  $\overline{س} \times \overline{و م} = \overline{ص} \times \overline{و د}$   
 وحيث أن  $\overline{س}$  و  $\overline{و م}$  ثابتان فإذا فرضنا أن بعد  $\overline{و د}$  يكون  
 على النصف يلزم أن قوة  $\overline{ص}$  تكون مضاعفة مثني ليكون الحاصل  
 ثابتا والتوازن واقعا ولا مانع أيضا من أن نقرض أن بعد  $\overline{و د}$  يكون  
 على الثلث فيلزم أن قوة  $\overline{ص}$  تكون متضاعفة ثلاث ولا مانع كذلك  
 من أن نقرض أن بعد  $\overline{و د}$  يكون على الربع فيلزم أن قوة  $\overline{ص}$  تكون  
 متضاعفة رابع وهكذا فباخذ حيثن في الازدياد تأثير قوة  $\overline{ص}$   
 في مقاومة  $\overline{ز}$  المساوية لمقاومة  $\overline{ز}$  والمضادة لها لاجل توازن القوة  
 المذكورة مع قوة أخرى كقوة  $\overline{س}$  موازية لها وازدياد هذا التأثير  
 يكون أولا بالنسبة لقوة  $\overline{ص}$  المذكورة وثانياً بالنسبة لبعده  
 $\overline{و د}$  وهو بعد اتجاه هذه القوة عن النقطة التي تكون بها المقاومة والحاصل  
 الذي يستعمل قياسا لتأثير القوة في المقاومة الموجودة بنقطة  $\overline{و}$   
 هو ما يسمى بمقدار القوة بالنسبة لنقطة  $\overline{و}$  المذكورة

فإذا كان يكون  $\overline{س} \times \overline{و م}$  هو مقدار قوة  $\overline{س}$  وكذلك يكون  
 $\overline{ص} \times \overline{و د}$  مقدار قوة  $\overline{ص}$  ولذا ذكر شرط التوازن المبين  
 بمعادلة  $\overline{س} \times \overline{و م} = \overline{ص} \times \overline{و د}$  فنقول  
 يشترط في جعل قوتين متوازيتين كقوتَي  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  متوازيتين  
 حول نقطة  $\overline{و}$  الثابتة أن يكون مقدار القوتين المأخوذ بالنسبة للنقطة  
 المذكورة واحدا في كل منهما

وبشرط أيضا أن تكون قوتا  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  يديران المستقيم إلى جهتين  
 متقابلتين

هنا ولا مانع من وضع المقاومة في نقطة  $\overline{أ}$  (شكل ٢٤) واعتبار توازن

قوتى  $\overline{ص}$  و  $\overline{ز}$  المؤثرتين في جهتين متضادتين فإذا اردنا مستقيم  
 $\overline{ا ح}$  عمودا على اتجاه هاتين القوتين المتوازيتين حدث هذا تناسب  
 $\overline{ص} : \overline{ز} :: \overline{ا و} : \overline{ا ب} :: \overline{ا ح} : \overline{ا غ}$   
 فاذن يكون  $\overline{ص} \times \overline{ا غ} = \overline{ز} \times \overline{ا ح}$   
 فيكون حيثئذ حاصل المقدارين في هذه الصورة كالتي قبلها واحدا في قوتى  
 $\overline{ص}$  و  $\overline{ز}$  المتوازيتين مع قوتى  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  كما انه واحد ايضا  
 في قوة  $\overline{ص}$  وقوة  $\overline{ز}$  التي هي محصلة  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$   
 ولذا لان مستقيحيهما اتفق كستقيم  $\overline{ا م}$  (شكل ٢٥) من نقطة  $\overline{ا}$   
 ونجعل مستقيبي  $\overline{و م}$  و  $\overline{ب د}$  عمودين على هذا المستقيم فيحدث  
 من خواص الخطوط المناسبة (كما سبق في الدرس الخامس من الهندسة)  
 هذا التناسب

$\overline{ص} : \overline{ز} :: \overline{ا و} : \overline{ا ب} :: \overline{و م} : \overline{ب د}$   
 وينتج من ذلك ان  $\overline{ص} \times \overline{ب د} = \overline{ز} \times \overline{و م}$   
 فيكون حاصل ضرب قوة  $\overline{ص}$  في بعد نقطة وقوعها وهي  $\overline{ب}$  على  
 مستقيم  $\overline{ا م}$  وحاصل ضرب قوة  $\overline{ز}$  في بعد نقطة وقوعها وهي  $\overline{و}$   
 على هذا المستقيم هما مقدارا  $\overline{ص}$  و  $\overline{ز}$  المأخوذان بالنسبة للمستقيم  
 المذكور ويعرف هذا المستقيم حيثئذ عمودا المقادير  
 وعليه فحق كان عمودا المقادير مازا بنقطة وقوع قوة  $\overline{س}$  المتوازنة مع قوتى  
 $\overline{ص}$  و  $\overline{ز}$  المتوازيتين كان مقدار  $\overline{ص}$  مساويا لمقدار  $\overline{ز}$  وكان  
 هذان المقداران مؤثرين في جهتين متضادتين

فإذا اردنا مستقيم  $\overline{ل م}$  موازيا للمستقيم  $\overline{ا م}$  ثم جعلنا  $\overline{ا ل}$   
 و  $\overline{و م}$  و  $\overline{ب د}$   $\overline{ن}$  اعمدة على هذين المستقيمين المتوازيين حدث  
 $\overline{ا ل} = \overline{ن د} = \overline{م م}$   
 لكن  $\overline{ز} = \overline{ص} + \overline{س}$

فإذا كان يكون  $\overline{س} \times \overline{ال} + \overline{ص} \times \overline{ن} = \overline{ز} \times \overline{م}$   
 وتقدم أن  $\overline{ص} \times \overline{ب} = \overline{ز} \times \overline{و}$   
 عليه يكون  $\overline{س} \times \overline{ال} + \overline{ص} \times \overline{بن} = \overline{ز} \times \overline{وم}$   
 فإذا جعلنا حيث مستقيماً كستقيم  $\overline{ل م ن}$  عموداً المقادير كان مجموع  
 مقدارى قوة  $\overline{س}$  وقوة  $\overline{ص}$  التوازيين مكافئاً لمقدار قوة  $\overline{ز}$   
 الموارنه لهما فيكون مكافئاً أيضاً لمقدار قوة  $\overline{ز}$  التى هى محصلة قوتى  
 $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  حيثان  $\overline{ز} = \overline{ز}$

ولنفرض الآن أن هناك ثلاث قوى مركبة مثل  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  و  $\overline{ع}$   
 (شكل ٢٦) فنبقلها إلى أى محور من مقادير  $\overline{م}$  يحدث

أولاً  $\overline{س} \times \overline{أسمه} + \overline{ص} \times \overline{بسمه} = \overline{ز} \times \overline{دز}$   
 وثانياً  $\overline{ز} \times \overline{دز} + \overline{ع} \times \overline{ثع} = \overline{ز} \times \overline{هز}$   
 فإذا كان يكون  $\overline{س} \times \overline{أسمه} + \overline{ص} \times \overline{بسمه} + \overline{ع} \times \overline{ثع} = \overline{ز} \times \overline{هز}$   
 وبناء عليه يكون مجموع مقادير القوى الثلاثة مساوياً لمقدار محصلتها

ويبرهن فى المستوى أيضاً على أن مجموع مقادير أربع قوى أو خمس أو ست  
 أو غير ذلك من القوى المركبة يكون مساوياً لمقدار محصلتها مهما كان وضع  
 محاور المقادير واتجاهه

وبناء على ذلك إذا مددنا من كل نقطة من نقط وقوع القوى عموداً على محور  
 المقادير كان حاصل ضرب المحصلة فى البعد الموافق لنقطة وقوعها مساوياً  
 لمجموع المواصل الموائمة لنقط وقوع سائر القوى المركبة

ويحدث من هذه الخاصية العظيمة تطبيقات مهمة على حسابات تحريك الأجسام  
 والآلات فلا بد للتلاميذ من حفظها وتعليلها على وجه الصحة والضبط  
 وقاعدة الخاصية المذكورة هى أنها تنبى دون واسطة وضع نقطة وقوع محصلة  
 ما يراد من القوى المتوازية من غير أن يكون هنالك ما يجبرنا على اخذ هاتين  
 وثلاث الخ

ولذلك نعد مستقيمين عمودين على بعضهما كستقيمي  $\overline{وس}$  و  $\overline{وص}$

(شكل)

(شكل ٢٧) ثم تنزل من قطة وقوع قوى  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  و  $\overline{ر}$  و  $\overline{ض}$  الخ وهي  $\overline{أ}$  و  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  و  $\overline{د}$  الخ باعده  $\overline{أ}$  و  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  الخ و  $\overline{أ}$  و  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  الخ على  $\overline{وس}$  و  $\overline{وص}$  فاذنا كانت  $\overline{غ}$  قطة وقوع محصلة  $\overline{ز}$  فانه يحدث

$$\overline{غ} \times \overline{ز} = \overline{ح} \times \overline{أ} + \overline{ب} \times \overline{خ} + \overline{ث} \times \overline{ر} + \dots$$

$$\text{و } \overline{غ} \times \overline{ز} = \overline{ح} \times \overline{أ} + \overline{ب} \times \overline{خ} + \overline{ث} \times \overline{ر} + \dots$$

ويستخرج من ذلك

$$(أ) \quad \overline{غ} = \frac{\overline{ح} \times \overline{أ} + \overline{ب} \times \overline{خ} + \overline{ث} \times \overline{ر} + \dots}{\overline{ز}}$$

$$\text{و } \overline{غ} = \frac{\overline{ح} \times \overline{أ} + \overline{ب} \times \overline{خ} + \overline{ث} \times \overline{ر} + \dots}{\overline{ز}} \quad (-)$$

ولا تغفل ان محصلة  $\overline{ز}$  تساوي مجموع سائر القوى المركبة

فاننا تساوت قوى  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  و  $\overline{ر}$  و  $\overline{ض}$  الخ وكان عددها  $\mathfrak{d}$  (اي غير متناهية) فان محصلتها  $\mathfrak{d} \times \overline{ح}$  فاذن يحدث من مساواة المقدار

$$\overline{غ} \times \overline{ز} = \overline{ح} \times \overline{أ} + \overline{ب} \times \overline{خ} + \overline{ث} \times \overline{ر} + \dots$$

$$\overline{غ} \times \mathfrak{d} \times \overline{ح} = \overline{ح} \times \overline{أ} + \overline{ب} \times \overline{خ} + \overline{ث} \times \overline{ر} + \dots$$

ويؤخذ من ذلك ان  $\mathfrak{d} \times \overline{غ} = \overline{ح} \times \overline{أ} + \overline{ب} \times \overline{خ} + \overline{ث} \times \overline{ر} + \dots$

$$\overline{غ} = \frac{\overline{ح} \times \overline{أ} + \overline{ب} \times \overline{خ} + \overline{ث} \times \overline{ر} + \dots}{\mathfrak{d}}$$

فاذن يكون

وعليه فمما كانت القوى المركبة مساوية لبعضها واخذ لكل منها بعد قطة

وقوعها عن محور المقدار و قسم مجموع هذا الابعاد على عدد القوى فانه يحصل

بعد المحور عن قطة وقوع المحصلة وهذا الحاصل مستعمل كثيرا في القنون

واذا لم يكن هنالك الاثلاث قوى مساوية لقوة  $\overline{ح}$  و واقعة على قطة  $\overline{أ}$

و  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  الثلاثة التي هي رؤس مثلث  $\overline{أ ب ث}$  (شكل ٢٨)

وبجعلت قاعدة المثلث المذكور وهي أ ب محورا للمقادير فان بعد  
 هذا المحور عن تقاطع وقوع القوتين الواقعتين على رأسى أ و ب يكون  
 حيثنقطة معدوما فيكون حاصل ضرب هاتين القوتين في قوة ح معدوما  
 ايضا فاذن لا يبقى معنا الا هذا التساوى يجعل ر فيه رمزا للمصلحة  
 وهو  $ر \times غ = ح \times ث$  لكن  $ر = ٣ ح$   
 فيكون حيثنقطة  $غ = \frac{1}{3} ث$  على وجه التعديل  
 وعليه فيكون مركز ثقل القوى الثلاثة المتساوية الواقعة على رؤس المثلث  
 موجودا في ثلث بعد كل رأس عن القاعدة التي تقابلها فاذن يكون هذا المركز  
 عين مركز ثقل سعة هذا المثلث (وبمثل ذلك يبرهن مع السهولة على أن مركز ثقل  
 اربع قوى متساوية واقعة على الرؤس الاربعة من شكل هرمى مثلثى هو عين  
 مركز ثقل حجم الشكل المذكور) وهذه قاعدة شهيرة جدا مستعملة غالبا  
 في حسابات الميكانيكا

وبمجرد تفصيل بعدى نقطة ع وهما غ غ و غ غ (شكل ٢٧)  
 عن مستقيى وس و وص نعرف وضع نقطة غ المذكورة  
 التي هي مركز وقوع القوى

ونقطة غ المذكورة هي بمقتضى تعريف مركز الثقل مركز ثقل قوى  
ح و غ و ر و ض الخ الواقعة على قطة أ و ب و ث و د الخ  
 (فاذا لم تكن القوى المتوازية كلها في مستوا واحد لزم استبدال محاور المقادير  
 بمستويات المقادير الاعمدة على بعضها فعلى ذلك نستبدل الاعمدة على محور  
أ ب ر الخ بالاعمدة على المستويات وفى كلتا صورتين يكون  
 مجموع مقادير القوى المركبة مساويا لمقدار المحصلة ويسهل اثبات ذلك  
 بخواص الخطوط المتناسبة كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

ثم ان القاعدة المذكورة آتاهى وطريق اجرائها يستعملان بدون واسطة  
 فى تفصيل وضع مركز ثقل ما براد من القوى المنفرقة على الخطوط والسطوح  
 او المجموع سواء كان منفرقة مستترا او لا

وإذا كان المطلوب تحصيل مركز ثقل الخط الثقيل وهو  $\overline{AB}$  (شكل ٢٩) فإنه يقسم إلى أجزاء صغيرة جدًا متصلة الثقل ويضرب كل جزء منها في بعده عن مستقيم أول كستقيم  $\overline{OS}$  ثم عن مستقيم ثان كستقيم  $\overline{OS}$  ثم يقسم بالتوالي مجموع المستقيمات الأولى والثانية على مجموع القوى فيحدث أولًا  $\overline{OG}$  وثانيًا  $\overline{OG'}$  ولا يلزم إيضاح الطرق الآتية التي تستعمل لأجل تحصيل مركز ثقل السطوح والججوم إلا بالنسبة للمينات فنقول

إن جلا فظة السفن يحتاجون إلى قياس سطوح الشراعات ونعينهم أولًا وضع مركز ثقل كل شراع وثانيًا مركز ثقل مجموع هذه الشراعات لأنه كلما كان هذا المركز الأخير المعروف بمركز الشراعات مرتفعًا عن مركز الثقل كان لقوة الهواء شدة يها تميل السفينة وتقلب حيث لا مانع ولا نزاع فيه إن جميع الشراعات الدائرة حول قطة تعلّقها تكون كلها نازلة في مستوى قائل السفينة وتقسم إلى مثلثات يكون كل من مسطحها ومركز ثقلها معينًا

فإذا فرض (شكل ٢٧) أن قوى  $\overline{H}$  و  $\overline{X}$  و  $\overline{R}$  الخ المتوازية الدالة على سطح هذه المثلثات واقعة على نقط  $\overline{A}$  و  $\overline{B}$  و  $\overline{T}$  الخ التي هي مراكز ثقل المثلثات المذكورة فإنه يحدث بدون واسطة من معادلتى (١) و (ب) المتقدمتين بعدا نقطة  $\overline{G}$  التي هي مركز ثقل الشراعات وهما  $\overline{OG}$  و  $\overline{OG'}$  عن محوري  $\overline{OS}$  و  $\overline{OS'}$  اللذين أحدهما أفقي والآخر رأسي وفي ذلك كفاية في معرفة وضع مركز الشراعات في مستوى قائل السفينة

ولتكن سعة  $\overline{AM}$  المستوية (شكل ٣٠) محدودة بنقطتي  $\overline{AM}$  وثلاث مستقيمتين عموديتين على بعضها هي  $\overline{AA}$  و  $\overline{AM}$  و  $\overline{AM}$  والمطلوب معرفة مقدار قوة هذه السعة بالنسبة لمستقيم  $\overline{AM}$  فلذلك قسم مستقيم  $\overline{AM}$  المذكور إلى أجزاء كثيرة عرض كل جزء منها يساوى  $\overline{L}$  ونعتمد نقط المستقيم مستقيمتين  $\overline{B}$  و  $\overline{C}$  و  $\overline{D}$  الخ الموازية لمستقيمي  $\overline{AA}$  و  $\overline{AM}$



فاذا اعتبرنا اجزاء منفى  $\overline{ا ب ش د}$  الخ وهي  $\overline{ا ب}$  و  $\overline{ب ش}$   
و  $\overline{ش د}$  الخ الصغيرة جدًا كخطوط مستقيمة حدث عن ذلك ان سطح  
 $\overline{ا م م} = \overline{ل} \times \frac{1}{4} \overline{ا ا} + \overline{ب ب} + \overline{ش ش} + \overline{د د} + \dots + \frac{1}{4}$   
 $\overline{م م}$  الخ

واذا فرض اننا استبدلنا من مبدء الامر  $\overline{ش ك ل م ا ب ش د}$  الخ  
 المتصل بشكل  $\overline{م ا ب ش د}$  الخ المدرج فان مراكز نقل  
 هذين الشكلين وهي  $\overline{خ}$  و  $\overline{ح}$  و  $\overline{ع}$  الخ تكون متباعدة عن  $\overline{ا م}$   
 بكميات تساوى  $\frac{1}{4} \overline{ا ا}$  و  $\frac{1}{4} \overline{ب ب}$  و  $\frac{1}{4} \overline{ش ش}$  كل لتظيره  
 فاذن تكون مقادير المستطيلات التي يتركب منها الشكل المدرج بالنسبة  
 لمجور  $\overline{ا م}$  هكذا

$$\begin{aligned} \overline{ا ا} \times \overline{ل} \times \frac{1}{4} \overline{ا ا} &= \overline{ا ا ش} \\ \overline{ب ب} \times \overline{ل} \times \frac{1}{4} \overline{ب ب} &= \overline{ب ب ش} \\ \overline{ش ش} \times \overline{ل} \times \frac{1}{4} \overline{ش ش} &= \overline{ش ش د} \end{aligned}$$

فيكون المقدار الكلى  $= \frac{1}{4} \overline{ل} (\overline{ا ا} + \overline{ب ب} + \overline{ش ش} + \dots + \overline{م م})$   
 ومن ذلك يعلم ان المقدار الكلى يكون مساويا لمجموع مربعات مستقيمات  $\overline{ا ا}$   
 و  $\overline{ب ب}$  و  $\overline{ش ش}$  مضروبا في نصف عرض القواعد المتساوية

فاذا اخذنا شكل  $\overline{م ا ب ش د}$  .... م المدرج كان المقدار الكلى  
 $\frac{1}{4} \overline{ل} (\overline{ب ب} + \overline{ش ش} + \overline{د د} + \dots + \overline{م م})$   
 وهالك مقدارين يوجد بينهما مقدار سطح  $\overline{ا م}$  المتصل  
 احدهما مقدار صغير جدًا وهو

$$\frac{1}{4} \overline{ل} (\overline{ا ا} + \overline{ب ب} + \overline{ش ش} + \dots + \overline{م م})$$

ثانيهما مقدار كبير جدًا وهو

$$\left( \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \dots + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} \right) \frac{1}{r}$$

فيكون المقدار المحصل قريبا من الحقيقة بقدر ما تكون الطبقات المتقدمة

كثيرة ومتقاربة من بعضها جدا فاذا قسمنا هذا المقدار على سعة م ا م  
حدث ع غ الذي هو بعد محمود ام عن م ك ز قل هذه السعة  
وهو ع

وعليه فيكون  $\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \dots = 1$

ثم ان حساب مقدار هذا الكسر هو سهل شئ الا انه ينبغي فيه التاني  
وكذلك يسهل تحصيل هذا المقدار بالهندسة بواسطة المثلثات القائمة الزوايا  
التي خاصيتها ان مربع الوتر يكون مساوياً بمجموع مربعي الضلعين الآخرين  
وقد استبان من ذلك ان خواص الهندسة عامة النفع في حل مسائل  
المكانسكا

وقد تكون الطريقة التي ذكرناها آتقاعامة تستعمل في سطوح أي شكل  
ولیکن المطلوب قصیل بعد محور س ص عن نقطة غ التي هي  
مركز ثقل سعة ابث ... م شـا (شكل ٢١) فتمت  
متوازيات ا ا و بـر و شـد و دود الخ التي على بعد  
واحد من بعضها وليكن غ و غ مركزی ثقل شکلی





قائمة فان مركز ثقل هذه الاسطوانة يكون ساقطا سقوطا اقويا على مركز ثقل  
السعة المذكورة ويحدث من المعادلات المتقدمة بعد مركز ثقل الاسطوانة  
المذكورة بالنسبة لمحورين عمودين على بعضهما  
ولتنوهم اقسام اى حجم كسفينية مثلا الى عدة طبقات افقية على بعد واحد  
من بعضها ومرتبة على الصورة التى فى شكل ٣٢ وتنوهم ايضا ان سطح  
السفينية عوضا عن أن يكون متصلا يكون مدرجا بحيث يكون كدرج  
السلام المعوجة على حسب صورة الجسم الصلب وكلما تكاثرت الدرج المسمى  
فى اصطلاحهم بالدرجات كان الجسم المدرج قريبا من الجسم الذى يكون  
سطحه متصلا وبالجملة اذا فرضنا ان  $\theta$  هو الارتفاع الرأسى لساير الطبقات  
او المدرجات حدث

(أولا) ان حجم كل درجة من السلام يكون مساويا  $\theta$  مضروبا فى سطح  
الطبقة المستعملة قاعدة المدرج

(وثانيا) ان مركز ثقل الدرجة يكون ساقطا سقوطا اقويا على مركز ثقل  
الطبقة المستعمل قاعدة لهذا المدرج

(وثالثا) ان ارتفاع  $\theta$  مضروبا فى مقدار الطبقة يكون مساويا لمقدار  
المدرج الذى تكون سعة هذه الطبقة قاعدته

(ورابعا) ان مجموع حجوم المدرجات يكون دالا على حجم  $Q$  الكلى للجسم  
المفروض

(وخامسا) ان مجموع مقادير المدرجات يكون دالا على المقدار الكلى  
لجسم المذكور

وخيتنا اذا كانت المقادير ماخوذة بالنسبة لهور  $W$  وكان مجموعها  $M$

حدث  $\bar{X} = \frac{M}{Q}$  فاذا كانت ماخوذة بالنسبة لهور  $W$  وكان

$$\text{مجموعها م فانه يحدث } \overline{\text{و غ}} = \frac{\frac{2}{3}}{ق}$$

ولا يخفى ما في هذه الطريقة من الإيجاز والسهولة فلهذا كانت مستعملة عند علماء النظريات وغيرهم وناخلة لجميع المهندسين والصناعية الذين يريدون حساب وضع مركز ثقل أي حجم على وجه القصة والضبط هذا ولا بد من تكرير القول بأن معرفة هذه الطريقة مما لا بد منه خصوصا لصناع السفن ولا مانع أن البصارة إذا عرفوها حق المعرفة وأجروا ما أمثلها من الطرق يستفيدون منها فوائد جليلة تتعلق بسقمتهم

وقد اقتصرنا هنا على ذكر الوضع الشهير لمركز ثقل عدة سطوح وعدة اجسام صلبة مهمة في الصناعة وإبقينا للتلامذة الذين يريدون التبحر في المعارف الاطلاع على الكتب الجليلة المؤلفة في هذا المعنى وإثبات ما ذكره من الخواصل فتقول

ان مركز ثقل المنشور او الاسطوانة يكون على بعد واحد من القاعدتين العليا والسفلى ويقطع المنشور او الاسطوانة الى جزئين متساويين بمستوى مواز لهاتين القاعدتين يكون مركز ثقل القطاع عين مركز ثقل المنشور او الاسطوانة

فاذا اخذنا مركز ثقل كل قاعدة من المنشور او الاسطوانة ووصلنا بين المراكزين بمستقيم واحد فان منتصف هذا المستقيم يكون مركز ثقل اما المنشور او الاسطوانة

(فاذا كان المنشور قائما كان المستوى الذي يقسمه الى قسمين متساويين بالتوازي للقاعدتين على بعد واحد من هاتين القاعدتين مستوى قائم فاذا كان يكون محتويا على مركز ثقل المنشور

ولتفرض انقسام المنشور المذكور الى كثير من الطبقات الموازية للقاعدتين فتكون مراكز ثقل هذه الطبقات تهيأ على مركز ثقل سطوحها وموجوده

على مستقيم واحد مواز لاضلاع المنشور ويكون جيتذ مركز ثقل هذا المنشور موجودا على منتصف المستقيم المذكور فادافرضنا ان القطوع المذكورة تتحرك على بعضها بالازاوي بحيث تكون مراكز ثقلها موجودة دائما على مستقيم واحد فانه يحدث عن ذلك حجم مدرج مركز ثقله موجود دائما على المستقيم الواصل بين هذه المراكز

وكما فرضت الطبقات رقيقة وعديدة كان الحجم المدرج فرضا من المنشور المائل بدون أن يكون ذلك مانعا من أن يكون وضع مركز ثقل هذا الحجم

على بعد واحد من المستويات المتعددة للطبقات المتطرفة فاذن يكون مركز الثقل في المنشور المائل او القائم موجودا في منتصف المستقيم المار بمركز ثقل القاعدة

ويظهر من قبل الاسطوانة القائمة الى اسطوانات مدرجة تكون كل درجة منها اصغر من التي يجانبها ان مركز ثقل الاسطوانة المائلة او القائمة يكون موجودا في منتصف المستقيم الواصل بين مركزي ثقل القاعدتين

ويحدث من فحة مجموع اضلاع المنشور الناقص على عدد الاضلاع بعد القاعدة عن مركز ثقل ذلك المنشور وذلك يكون بقياس هذا البعد بمستقيم مواز للاضلاع

فاذا اخذنا مركز ثقل قاعدة هرم او مخروط ووصلنا بينهما وبين الرأس بمستقيم ثم اخذنا ربع هذا المستقيم بالابتداء من القاعدة او اخذنا ثلاثة ارباعه بالابتداء من الرأس فان القطعة التي نجدها تكون مركز ثقل اما للهرم او المخروط المذكورين

(واذا قمنا الهرم المثلث الى طبقات رقيقة جدا واسطة مستويات موازية لقاعدة وجدنا ان مركز ثقل هذه الطبقات تكون موجودة في مركز ثقل القطاعات الموازية لقاعدة ولكن حيث ان هذه القطاعات متساوية وتقطعها المتساوية موجودة على مستقيم واحد مع رأس الهرم فان مركز الطبقات المذكورة وكذلك مركز الهرم تكون موجودة على المستقيم الواصل بين مركز

قل القاعدة والرأس وذلك يوافق الرأس الاربعة والاوجه المتقابلة لها  
 وليكن  $\overline{غ}$  (شكل ٢٣) مركز قتل قاعدة  $\overline{ا ب ت}$  لهرم  
 $\overline{ض ا ب ت}$  فيكون  $\overline{ك غ} = \frac{1}{4} \overline{ك ب}$  وليكن ايضا  $\overline{غ}$   
 مركز قتل  $\overline{ض ا ت}$  فيكون  $\overline{ك غ} = \frac{1}{4} \overline{ك ض}$  فاذن  
 اذا مددنا  $\overline{غ غ ب}$  و  $\overline{غ غ خ}$  فان خطي  $\overline{ك ض}$  و  $\overline{ك ب}$   
 يكونان مقطوعين قطعاً مناسباً وعليه فيكون  $\overline{غ غ ت}$  ثلث  $\overline{ب ض}$   
 وكذلك  $\overline{ك غ}$  يكون ثلث  $\overline{ك ب}$  و  $\overline{ك غ}$  ثلث  $\overline{ك ض}$   
 فبسبب تشابه مثلثي  $\overline{غ غ غ}$  و  $\overline{غ ب ض}$  يكون  $\overline{غ غ} = \frac{1}{4}$   
 $\overline{غ ض}$  وبناء عليه يكون  $\overline{غ غ} = \frac{1}{4} \overline{ض غ}$  فاذن يكون مركز  
 قتل الهرم موجوداً في ربع بعد الرأس عند مركز قتل القاعدة  
 ومركز قتل سطح الكرة وجسمها موجود في مركز تماثلها  
 ومركز قتل الطيلسان الكروي موضوع على محور التماثل وعلى سهم الطيلسان  
 ويكون في منتصف هذا السهم  
 ومركز قتل وجسم سطوح الدوران موضوع على محوري تماثلها  
 فاذا مددنا مستويين يقطعان محور مخروط قائم مستدير تمام او ناقص فان مركز  
 قتل المثلث او شبه منحرف القطاع يكون مركز قتل سطح المخروط التام  
 او المخروط الناقص  
 ومركز قتل حجم نصف الكرة يكون في ثلاثة اثمان نصف القطر بالابتداء  
 من المركز  
 ومركز قتل قطعة القطع المكافئ يكون في ثلاثة اثمان السهم بالابتداء  
 من الرأس  
 ومركز قتل قطعة الحجم المكافئ المتولد من دوران القطع المكافئ على محوره



يكون في ثلثي المحور بالابتداء من الرأس

\*(بيان استعمال مراكز الثقل لاجل تحصيل حجم بعض الاجسام)\*

ينبغي أن نفهم ونوضح هنا ما بين تعيين بعض الججوم وتعيين مركز ثقل بعض  
السطوح من المشابهة العظيمة فنقول

لتفرض ان مركز ثقل  $\overline{غ}$  (شكل ٢٣) لسطح دائري حول محور  $\overline{وو}$   
يكون معيناً في رسم محيط  $\overline{وم}$  وفي حال التحرك لسطح دوران  
ويكون الحجم المحصور في سطح الدوران المذكور مساوياً لسطح  $\overline{وم}$  و  
مضروباً في الباقية التي قطعها مركز  $\overline{غ}$

ولاثبات ذلك نأخذ من محور  $\overline{وو}$  مستويين كستوي  $\overline{وع}$  و  $\overline{وغ}$   
متقاربين من بعضهما قريباً كلياً بينهما زاوية صغيرة جداً فيمكن أن يعتبر  
ان الجسم منته بشقة اسطوانية بين المستويين المذكورين فيكون للاسطوانة  
الناقصة قاعدة قاعدة  $\overline{وم}$  و  $\overline{وع}$  على مستوى  $\overline{وع}$  فاذا قسمنا هذه  
القاعدة الى مربعات صغيرة متساوية كان كل واحد منها قاعدة مثلث صغير  
فإن منته بمستوى  $\overline{وغ}$

وليكن  $\overline{وسم}$  احد هذه المربعات الصغيرة فاذا مددنا من نقطة  $\overline{س}$   
التي هي مركز المربع المذكور خط  $\overline{سس}$  موازياً لمحور  $\overline{وو}$  فإنه يحدث  
معنا حجم منشور منشور  $\overline{ارشد}$  تكون قاعدته  $\overline{وسم}$  و  $\overline{سس}$   
ارتفاعه ويكون مساوياً  $\overline{وسم} \times \overline{سس}$  وعليه فهذا الحاصل  
هو مقدار  $\overline{وسم}$  المنقول على مستوى  $\overline{وغ}$  بالنسبة الى  
مستوى  $\overline{وع}$  فاذن يكون مجموع حجومات المنشورات التي حجم قطع  $\overline{وع}$  و  $\overline{وغ}$   
مساوياً لمجموع مقادير  $\overline{وم}$  و  $\overline{وغ}$  في مستوى  $\overline{وغ}$  بالنسبة لمستوى  $\overline{وع}$

فاذا اسقطنا في  $\overline{غ غ}$  قطة  $\overline{غ}$  التي هي مركز ثقل  $\overline{وم و}$  حدث

سطح  $\overline{وم و} \times \overline{غ غ} =$  مجموع مقادير  $\overline{وم و}$  للوضع في مستوى  $\overline{وغ}$  بالنسبة الى مستوى  $\overline{وغ}$  فاذن يكون الحاصل هكذا

سطح  $\overline{وم و} \times \overline{غ غ}$  يساوي حجم جزء من جسم الدوران محصور بين  $\overline{وغ}$  و  $\overline{وغ}$

وعلى ذلك فيكون  $\overline{غ غ}$  مساويا للمسافة التي يقطعها مركز  $\overline{غ}$  لينتقل من مستوى  $\overline{وغ}$  الى مستوى  $\overline{وغ}$  متى فرضنا ان المستويين متقاربين من بعضهما تقاربا كليا

فاذن يحدث من سطح  $\overline{وم و}$  مضروب في مسافة  $\overline{غ غ}$  التي يقطعها مركز ثقله عند دورانه حول محوره وهو  $\overline{وو}$  حاصل مساو لحجم جزء من جسم الدوران محصور بين مستويي  $\overline{وغ}$  و  $\overline{وغ}$

ويمكن أن تتوهم عدة مستويات قد يراد تكون متقاربة من بعضها بالكلية ومارة بالمحور فيكون حجم جزء جسم الدوران المحصور بين هذه المستويات مينا بحاصل ضرب سعة  $\overline{وم و}$  في المسافة التي يقطعها مركز ثقل هذه السعة

وعلى ذلك متى كان الجسم حادثا من سعة مستوية دائرة حول محور كان حجم هذا الجسم مساويا لحاصل ضرب السعة في المسافة التي يقطعها في هذا المحور مركز ثقل هذه السعة

والاثبات المتقدم يبقى على حالة واحدة متى كانت سعة  $\overline{وم و}$  الدائرة حول  $\overline{وو}$  لاجل الانتقال من  $\overline{وغ}$  الى  $\overline{وغ}$  دائرة حول محور ثان مرسوم في مستوى السعة لاجل قطع جزء كبير او صغير من سطح الدوران

الحديد ثم حول محور ثالث مرسوم في مستوى السعة وهكذا  
وفي جميع هذه الاحوال يكون الحجم المنتهى بسطح جليد مساويا لسطح السعة  
الراسمة مضروبا في المسافة التي يقطعها مركز ثقل هذه السعة

\*( تطبيق ) \*

هذه الطريقة السهلة مستعملة عند العمارة الماهرين في حساب هجوم  
او كيات الاجار والحديد والاشباب التي تحتوى عليها السلام الحزونية  
والقودات المستديرة ومستعملة ايضا عند مهندسي القناطر والجسور  
في حساب خسر وروم الجلبان وكذلك عند الطوبجية في حساب حجم الاجراء  
المستدير من المخارج النارية وهم بمرءا ويكثر استعمالها ايضا عند  
صناع السفن في تكعيب الاشباب

ويجب على التلامذة أن يلتفتوا كل الالتفات الى ما بين خواص الهندسة  
والميكانيكا من الروابط الالكيدة فان الميكانيكا بدون الهندسة ليست الاعلا  
بلا علم وممارسة بلا موقف وربما استحال بدونها وكذلك الميكانيكا لا بد  
للهندسة منها فانها تكسب الهندسة اشغالا مهمة وذلك لانها تحدث لها  
آلات متنوعة لاجل اجراء سائر العمليات الدقيقة على وجه الصحة والضبط  
والسهولة ولتشر الآلات عن ساعد الجهد والاجتهاد في بيان النسب التي لا بد منها  
لهذين العليين الطرفين لاجل تطبيقهما معا على الصناعة فنقول

\*( الدرس الخامس ) \*

\*( في بيان ما بين من قوانين الحركة ) \*

قد تقدم الكلام على قوانين الحركة الحاصل من القوى المتجهة على مستقيم  
واحد وتقدم ايضا انه اذا كان قوتان واقعيتن على نقطة مادية في اتجاه واحد  
متمدة زمن معلوم كانت للمسافة الكلية المقطوعة في هذا الزمن باقية على حالة  
واحدة متى كانت النقطة المادية متحركة في مبداء الامر بالقوة الاولى ثم بالقوة  
الثانية

فاذا فرضنا مثلا ان سفينة سارت مع الانتظام والرياح تدفعها من خلفها

وكان عليها ملاح يسير من مؤخرها الى مقدمها مع الاستطام ايضا وفرضنا ان هذا الملاح وصل بعد زمن معلوم الى المقدم متبعا اتجاه سير السفينة فان المسافة الكلية التي يقطعها تكون عين المسافة التي يقطعها الوساير من المؤخر الى المقدم في الزمن المذكور حال استقرار السفينة واذا كان الملاح مستقرا والسفينة سائرة فان الريح يتقله معها بالانتظام في الزمن المعلوم بالسرعة الاصلية لها

وليست المسافات المقطوعة وحدها هي التي تبقى على حالها في هاتين الصورتين بل كذلك القوة الكلية المستعملة لتحريك الملاح والسفينة فانها ايضا تبقى على حالها ولا يلزم للسفينة والملاح اكثر من قوة واحدة سواء كان متحركا كهما حاصل في زمن واحد وفي ازمة متوالية

والمسافة الكلية المقطوعة بواسطة القوتين المؤثرتين معا هي في الصورتين المذكورتين مجموع المسافات المقطوعة اذا كان كل من القوتين التي تسير السفينة الى الامام والقوة التي تسير الملاح كذلك مؤثرا على حدة ولنفرض الآن ان الملاح عند تقدم السفينة يرجع القهقري من المقدم الى المؤخر فالحاصل حينئذ يكون كالملاح كان مستقرا والسفينة تتقدم او بالعكس بمعنى انها مستقرة وهو متأخر فبناء على ذلك تكون المسافة الكلية المقطوعة عند حصول التحركين معا مساوية لفاضل المسافات المقطوعة متى كان الملاح متحركا بقوته الاصلية دون غيرها او كان متحركا بالقوة التي تقدم بها السفينة

واقول ان خاصية الآلة وهي كونها تقطع المسافة الكلية في زمن معلوم اذا كانت عدة قوى مؤثرة معا على اتجاه واحد وكان تأثيرها بالتعاقب في الزمن المذكور ليست مقصورة على الاجسام المعدة للتحرك بتأثير القوى المتجهة على مستقيم واحد بل هي عامة مهما كان اتجاه تلك القوى فاذا اردت ان تعرف لذلك مثالا سهلا يستعمل كثيرا في التحركات المركبة فضع نفسك في زورق وسرفيه من جهة الى اخرى حال استقراره فان سارا الى

الامام في جهة الطول فانك لا تستر على هذا التحرك الاتقالي بالسرعة المنتظمة ولو استعملت كمية واحدة من القوة لتحرك بها فانما اطلقت بندقة او طبخية من قطعة من السفينة الى اخرى فان الرصاصة تصل الى النقطة المعينة اذا كانت السفينة مستقرة او متحركة بشرط أن لا يتغير هذا التحرك لمتدة المسافة التي تقطعها الرصاصة من وقت خروجها من البندقة او الطبخية الى الهدف العين ولنبحث عن الطريق الذي تسلكه الرصاصة المذكورة فنقول

لفرض ان الرصاصة او غيرها من الاجسام بحجم  $\overline{A}$  (شكل ١) تكون مدفوعة بقوتين رموز اليهما يسمى  $\overline{AS}$  و  $\overline{AV}$  فان اثرت القوة الاولى وحدها فانها تسير بحجم  $\overline{A}$  في ازمة متساوية مسافات  $\overline{AS}$  و  $\overline{ST}$  و  $\overline{ST}$  الخ المتساوية على مستقيم  $\overline{AS}$  الذي هو امتداد  $\overline{AS}$  وان اثرت القوة الثانية وحدها فانها تسير بحجم  $\overline{A}$  المذكور في تلك الازمنة المتساوية مسافات  $\overline{AS}$  و  $\overline{ST}$  و  $\overline{ST}$  الخ المتساوية على مستقيم  $\overline{AS}$  الذي هو امتداد  $\overline{AS}$

فانما اثرت قوة  $\overline{AS}$  وحدها مدة الزمن الاول فانها تنقل بحجم  $\overline{A}$  الى  $\overline{S}$  ثم اذا اثرت قوة  $\overline{AV}$  وحدها مدة زمن مساو لزمن المذكور في اتجاهها الاصل فانها تسير بحجم  $\overline{A}$  على مستقيم  $\overline{SB}$  المساوي لمستقيم  $\overline{AS}$  والموازي له

وانما اثرت قوة  $\overline{AS}$  وحدها في الزمنين الاولين فانها تنقل بحجم  $\overline{A}$  الى  $\overline{S}$  ثم اذا اثرت قوة  $\overline{AV}$  وحدها مدة زمنين مساويين للزمنين المذكورين فانها تسير بحجم  $\overline{A}$  على مستقيم  $\overline{SB}$  المساوي لمستقيم  $\overline{AS}$  والموازي له وهكذا

وبالجملة فتقط  $\overline{B}$  و  $\overline{ST}$  و  $\overline{SD}$  الخ التي تنقل فيها الجسم حين تكون قوتا  $\overline{AS}$  و  $\overline{AV}$  مؤثرتين على التعاقب هي عن النقط التي يصل اليها هذا الجسم متى فرض ان هاتين القوتين قوتان معاملة زمن واحد وايضا

خاصية الخطوط المناسبة (راجع الدرس الخامس من الهندسة) التي يحدث منها

أ : ر ب :: أ ث :: أ د :: أ د ...

تستلزم أن نقط أ و ب و ث و د الخ تكون على مستقيم واحد

وإن اشكال أ ب د و أ ث د و أ د د الخ تكون متوازية

الاضلاع ويكون لها وتر موضوع على مستقيم أ ب ث د الخ فاذن

مقي وقع على الجسم تأثير قوتين فإنه يهتز على مستقيم واحد وينبع وتر

متوازي الاضلاع الذي يكون كل ضلع منه دال على المسافة التي يقطعها الجسم

المذكور إذا كان مدفوعاً مدة زمن واحد بأحدى القوتين المركبتين

وعليه في كل القوتان المركبتان ميبين مقداراً واتجاهاً بمستقيمي أ ب

و أ ب فان محصلتهما تكون ميبنة أيضاً مقداراً واتجاهاً بوتر متوازي

الاضلاع وهو أ ب د الذي ضلعه أ ب و أ ب وهذا هو المسمى

بمتوازي الاضلاع للقوى

(ولا مانع من أن نبرهن على خاصية متوازي الاضلاع لقوى برهنة صحيحة

نقول

لتفرض قوتين حتماً اتفق كقوتَي س و ص الميبنتين (شكل ٢)

بمستقيمي أ م و أ ن ونتم بهذين المستقيمين متوازي الاضلاع وهو

أ م ن ولنوقع على نقطة ن من مستقيم م ن وعلى

امتداد قوتين متضادتين كقوتَي م و م مساويتين لقوة ص

فيعدمان بعضهما ولا يغيران محصلة س و ص

ونركب الآن س مع م و ص مع م

فإننا كانت ص المتجهة على ش ك محصلة قوتَي س و م

المتوازيتين حدث

م : س :: ن : أ :: م : ش

لكن حيث ان خط  $\overline{ش ك}$  مواز لـ  $\overline{ن ع}$  يحدث من خاصية المخطوط  
المتناسبة (كافي الدرس الخامس من الهندسة)

$\overline{ان} : \overline{ن ع} :: \overline{اش} : \overline{ش ك}$

فاذن يكون  $\overline{ش ك} = \overline{ش ن}$  وبعدمستقيم  $\overline{ك ن ر}$  تكون  
زاويتا  $\overline{ك ش ن}$  وهما  $\overline{ن ك ن}$  و  $\overline{ش ن ك}$

متساويتين وكذلك زاوية  $\overline{ك ن ع}$  تكون مساوية لكل منهما

فاذن يقسم مستقيم  $\overline{ك ن ر}$  زاوية  $\overline{ان ع}$  و  $\overline{ص ن ع}$   
الى جرتين متساويتين وحيث ان قوتي  $\overline{ص ن}$  و  $\overline{ص ع}$  متساويتان

فان محصلتهما هي  $\overline{ر}$  فتكون موضوعة على  $\overline{ك ن ر}$  اذ لا مقتضى  
لكونها تقرب من احدى قوتي  $\overline{ص ن}$  و  $\overline{ص ع}$  المذكورتين اكثر من

ال اخرى

فعلى ذلك تكون محصلة قوتي  $\overline{س و ص}$  عين محصلة قوتي  $\overline{ض و ر}$   
لكن تكون محصلة القوتين الاوليين مارة بنقطة  $\overline{ا}$  المشتركة بينهما وتكون

محصلة القوتين الاخرين مارة بنقطة  $\overline{ك}$  المشتركة بينهما فاذن تكون

محصلة  $\overline{س و ص}$  مارة بنقطتي  $\overline{ا و ك}$  اعني انها تكون مارة

بمستقيم  $\overline{ا ك ع}$  الذي هو وتر متوازي الاضلاع وهو  $\overline{ا م ع ن}$

الذي ضلعهما وهما  $\overline{ا م}$  و  $\overline{ا ن}$  دالان على قوتي  $\overline{س و ص}$   
الركبتين

ولاجل تفصيل مقدار محصلة  $\overline{ز}$  المجهة على  $\overline{ا ع}$  (شكل ٣) نجعل  $\overline{ز}$

مساويا ومضادا لهذه القوة وعليه فتكون قوتي  $\overline{س و ص}$  و  $\overline{ز}$   
متوازنة وتكون كل قوة منها مساوية ومضادة لمحصلة القوتين الاخرتين

الرسم متوازي اضلاع يكون وتره متجهها على  $\overline{AM}$  وضلعاه متجهين على  
 $\overline{AN}$  و  $\overline{AE} = \overline{AE}$  فحق اريد أن  $\overline{AN}$  يكون دالاعلى  
 المركبة الاولى وكان  $\overline{AM}$  اتجاه محصلة  $\overline{S}$  وكانت المركبة الثانية  
 وهي  $\overline{Z}$  متجهه على  $\overline{AE}$  لزم أن يكون  $\overline{AE}$  ضلعان متوازي  
 الاضلاع وهو  $\overline{AN}$  م  $\overline{E}$  فاذن يكون  $\overline{AE} = \overline{AN}$  م  $\overline{E} = \overline{AE}$   
 فتكون محصلة  $\overline{Z} = \overline{Z}$  مينة المقدار والاتجاه بمستقيم  $\overline{AE}$  وهو  
 وتر متوازي الاضلاع وهو  $\overline{AM}$  م  $\overline{N}$  اذا كان  $\overline{AM}$  و  $\overline{AN}$  اللذان  
 هما ضلعان متوازي الاضلاع المذكورين على المركبتين  
 وكلا كان متوازي الاضلاع للقوى مطبقا على ما ينشأ عن الاعضاء من  
 الحركات الصغيرة وعلى حركات الآلات المستعملة والحركات الخارجة التي  
 نجبر على عملها لزم أن نعتبر في سائر الاحوال ان ما نستعمله من القوى المركبة  
 يكون متجهها على وجه بحيث يحدث منها محصلة متجهه بنفسها الى الجهة التي  
 يظهر لنا انها موازية ولن كمية القوى المدومة تكون قليلة مهما ممكن هذا  
 وقد نجاسرنا على أن نحقق ان الممارسة المحصورة بالاتباء واللواطبة  
 في القويقات والورش يحدث منها في القوة والزمن وفرة فوائد عظيمة ويتيسر به  
 التباعده عن الاخطار الممولة ولنوضح ذلك بمثال يكدر وقوعه مع ما فيه غالباً  
 من الضرر فنقول

اذا كانت حركة العربى سريعة فازيجت راكبها فوثب من بابها وفض الى الارض  
 فان جسمه يكون مدفوعاً أولاً بفعل هذه العربى الالاقى وتايماً بقوة  
 التثاقل الرأسية فتكون محصلة القوتين المائلة ميلاً في وقوع هذا الشخص  
 حين يصل الى الارض وحيث كان الوتر القال على محصلة القوتين مؤثراً مع  
 الانحراف فان هذا القطر الذي يمر بمركز ثقل هذا الشخص لا يمر بمرجله  
 اذا كان متمسكاً فينبغي له حتى لا يقع أن يميل كثيراً عند النط بالجزء الاعلا



من جسمه الى الجهة التي تأتي منها العربة وكثيرا ما تمزقت اعضاء الناس  
بل منهم من هلك عند النط من عربة تجرودة بافراس ازعجتهم سرعتها وما ذاك  
الا لجهلهم بهذه الكيفية ودعوتهم عند حصول الخطر

ومتي كان ضلعان كضلي **أ ب** و **أ ث** من شكل متوازي الاضلاع  
(شكل ٤) متساويين حدث من ذلك شكل معين وقسم الوتر الزاوية الواقعة  
بين الضلعين الى جزئين متساويين وعليه فتي **ك** كان قوتان متساويتين  
فان محصلتهما تقسم الزاوية الحادة منهما الى جزئين متساويين فيؤخذ  
من ذلك انه لا داعي لان تكون المحصلة قريبة من مركبة اكثر من اخرى

ولجميع الطيور شكل متماثل بالنسبة لمستوى **أ د** الرأسى (شكل ٥)  
المتمد من رؤسها الى اذنانها متي كانت منتصبه مع الاستقامة فاذا طارت حدث  
من اجبتها حركات متعاقبة وضربت الهواء الذي يرد تلك الاجنحة بقوتين  
متساويتين موضوعتين على وجه متماثل بالنسبة لمستوى **أ د** فاذا ن تكون  
محصلة هاتين القوتين موضوعه في هذا المستوى ودافعه لكل طائر على اتجاها  
مبين هذا المستوى

وكما كان ذراعا الانسان وساقاه مستعمله على وجه متماثل كان جأباه  
متماثلين ولاجل تفصيل تأثير ميكانيكي ايا كان يلزم ان محصلة مجهودات هذه  
الاعضاء تمر بمستوى الجسم الانساني

ومثال هذا التأثير يؤخذ من تعليم فن العوم وذلك لان العائم لاجل أن يقع  
الطريق الموجهة على مستوى تماثل جسمه يصنع حركات متعاقبة يديه ورجليه  
كما في (شكل ٦) ويعين اندفاع الماء على راحتي اليدين واخصم الرجلين  
بسهل **ف و ف و ف و ف** والمحصلتان برمزي **ر و ر**

والسجل التماثل الصورة له بالنسبة للمستوى الرأسى المتمد من رأسه الى ذنبه  
(شكل ٧) امنا ط موضوعه بالتماثل على جانبيه يحتر كما مع السوية  
كأن العائم يحرك يديه ورجليه بحيث يحدث من ذلك ومن مستوى التماثل  
زاوية واحدة وهذا هو سبب كون المحصلة تكون في هذا المستوى وتحدث

سيرا مستقيما

وكذلك السفن المصنوعة على صورة السمك لها مستورا في متماثل ومتجه  
من المؤخر الى المقدم في اريد تسيير السفينة استعمل لذلك قوى متساوية  
موضوعة بوجه متماثل في كل من جهتي المستوى المذكور وهذه القوى  
(شكل ٨) تارة تكون مجاذيف وتارة بجلات ذات كمات وتارة اتصالا  
(راجع القوى المتحركة في الجزء الثالث من هذا الكتاب) وقد تكون محصلة  
تلك القوى موضوعة دائما في مستوى التماثل اذا كان الغرض تسيير السفينة  
سيرا مستقيما

وقد يؤخذ من العوم الناشئ عن قوة الهواء الجاهي تطبيق ثابت دائما يتعلق  
بتحليل القوى ولكن أ ب (شكل ٩) محور السفينة التي يكون فيها مستقيم  
م ن دالا على مسقط الشراع المستند في نقطة و على الصاري فاذا كان  
و ح دالا مقدارا وانحاجها على قوة س التي يدفع بها الهواء الشراع  
نسيم متوازي الاضلاع القائم وهو و ش ح د الذي وتره و ح فاذا  
حللنا قوة و ح الى قوتين فان احدهما هي و ث الموجودة  
في جهة شراع م ن لا تحدث تأثيرا مانسب به السفينة وثانيتهما هي و د  
العمودية على الشراع هي التي دون غيرها تدفع الشراع المذكور والصاري  
والسفينة واذا حللنا قوة و د الى قوتين اخريين فان احدهما هي و هـ  
تكاد تسيير السفينة في جهة محور التماثل وثانيتهما هي و ف تدفعها  
بالجنب وتحدث التحرك المسمى بالانحراف ويجب على مانع السفن والملاح  
أن يمزجا تركيب هاتئهما ويحركها بحيث يحدث من قوة و هـ اعظم ما يمكن  
ومن قوة و ف اقل انحراف ممكن

وفي متوازي الاضلاع وهو أ ب ش د (شكل ١٠) اذا كانت زاوية  
ب ا ث منفرجة جدا يكون وتره وهو أ د قصيرا جدا وكلما كانت  
زاوية ب ا ث صغيرة كان الوتر المذكور عنيدا الى النقطة التي تكون فيها

زاوية  $\overline{ب\alpha\theta}$  المذكورة معدومة وحيث يكون  $\overline{\alpha\theta}$  موضوعا على  $\overline{\alpha\beta}$  وتكون المحصلة مساوية لمجموع المركبتين وعليه فإذا لم تكن زاوية  $\overline{ب\alpha\theta}$  معدومة لانه تكون محصلة قوتي  $\overline{\alpha\beta}$  و  $\overline{\alpha\theta}$  مساوية بالكلية لمجموع هاتين المركبتين

ويكثر استعمال خاصية محصلة  $\overline{\alpha\delta}$  وهي اختصاصها كلما زادت زاوية  $\overline{ب\alpha\theta}$  ونفذ كذلك مثالا لم لا نقول

إذا فرض أن المطلوب ربط صندوق  $\overline{م\theta}$  بجبل من دبابرة (شكل ١١)

فانه يبدأ بجعل  $\overline{\theta\alpha}$  الذي هو طرف الجبل المذكور مارا من حلقة  $\overline{\alpha}$  المصنوعة في نقطة  $\overline{\alpha}$  التي هي طرف  $\overline{\alpha\beta}$  ثم يشد الطرف الخالص شدا قويا في اتجاه قريب جدا من  $\overline{\alpha\theta}$  فإذا كان لا يمكن تحصيل تأثير في هذه الجهة فإن هذا الطرف يوجه بالعرض الى  $\overline{\alpha\delta}$  ومنى شد بقوة صغيرة حدث من ذلك زاوية  $\overline{ب\theta\delta}$  أعني أن نقطة  $\overline{\alpha}$  تحيى على أن تكون

في  $\overline{\theta}$  بحيث أن الوتر الصغير هو  $\overline{\theta\delta}$  من متوازي الاضلاع يكون عند رسم هذا الشكل دالا على القوة الصغيرة لليد التي توازن شدي الجبل العظمين وهما  $\overline{ب\theta}$  و  $\overline{\theta\delta}$  ثم يشبك طرف الجبل الخالص تحت الصندوق ثم يمين  $\overline{\theta\beta}$  و  $\overline{\theta\delta}$  و  $\overline{\theta\delta}$  الخ وتوصل نقطة  $\overline{\theta}$  الى نقطة  $\overline{\alpha}$  بواسطة شد الجبل شدا عديجيا

وكأنوا ما بقي يستعملون كثيرا السلاح المعروف بالنشاب أو السهم فكانوا يرمونه بقوس  $\overline{\theta\delta}$  المرن (شكل ١٢) المندود بوتر شد وكان هذا القوس مستعملا بكثرة وقد تقدم في الدرس الثالث من الهندسة أن كلمة قوس ووتر ونشاب نقلت من فن الصيد والقتل والحرب واستعملت في القاطع العلم ونفذ كرتا تأثير القوس فنقول

إن الانسان يقبض بأحدى يديه على قومه في نقطة  $\overline{\theta}$  ويمسك بالثانية الطرف الغليظ من النشاب ويثبته على هذا الطرف في نقطة  $\overline{\beta}$  التي

هي منتصف الوتر وما يذله من الجهد في إبعاد نقطة  $هـ$  عن نقطة  $ف$  يكون  
 ميئنا بمقدار  $٢$  فن  $غ$  وكذلك الجهد الحاصل على نصفي الوزنين يكون ميئنا  
 بمقدار  $غ د$  و  $غ ث$

فاذا افلقت اليد الموضوعة في نقطة  $غ$  طرف السهم فان نصفي وترى  
 $غ ث$  و  $غ د$  يأخذان طولهما الاصل وذلك لانهما يؤثران في السهم  
 بقوة واحدة ويجبرانه على اتباع اتجاه الوتر وهو  $غ ف$

وعند الرمي تكون نسبة الشد الحاصل من كل نصف وتر الى القوة التي يها رمي  
 سهم  $اب$  كنسبة طول  $غ ث$  او  $غ د$  الى ضعف  $غ ف$   
 لان  $غ ف$  هذا هو نصف وتر متوازي الاضلاع للقوى المتألف من ضلعي  
 $غ ث$  و  $غ د$

ولكن حيث كان قوس  $ش هـ د$  في العادة جسيما مرنا فانه يكاد أن يكون  
 قائما مع الشدة بقدر انطباق زاوية  $ش غ د$  وبذلك تزداد القوة التي  
 يرمى بها السهم ايضا وهذه الطريقة يمكن لاي انسان ان يستطيع به رمي السهم  
 بعيدا عنه الا بعض خطوات مع يسير من القوة أن يرمى هذا السهم الى ابعاد  
 كبيرة بقوة كافية ويجرح به او يقتل الانسان وغيره من الحيوانات الكبيرة  
 وهالك مثلا لا آخريين للشدة قوة صغيرة جدا تؤثر بكيفية مماثلة للكيفية التي  
 ينشئ بها وتر القوس فنقول

اذا كان الغرض ان الهر به (اي العود الافرنجي) يكون له درجة من الشد  
 يصل بها الى صوت لا ترق له لزم أن يستعمل لذلك مفتاح تضاعف به قوته لاروى  
 الاوتار اربع مرات او خمسا فان الرجلين الشديدين اذا قبض كل منهما بيده

على طرف بعض اوتار من العود وثقته حتى يبلغ الغاية لثقلهما من ذلك مشقة  
وتعب اذا كانت تلك الاوتار متصلة بهذه الاكّة كاتصال الجزء بأكمله  
وقد حسب المهندسون بروى شداوتار الياقوت (اي القانون الافرنجي) فوجد  
بمجموع شدته يزيد على قوة اربعة افراس ومع ذلك فالقوى الصغيرة التي اذا مد  
ذراعيه على طول اوتار العود لا يستدعيها الا بالمشقة يصح في اصابعه اللطيفة  
قوة كافية للقبض على هذه الاوتار والضرب عليها من مشتقها بانامله بحيث  
يصدر من ذلك نصف او ترين منزويان وهما ضلعا كثيرا للاضلاع (شكل ١٣)  
التي يدل وزه على الجهد الحادث من اصابع القوي المذكور ومعنى فتح يده  
كان في هذا الجهد قدرة كافية لان تحدث للوتر تحركا لا هترازا الذي تسمع رننه  
مدة طويلة ما لم يقطع بالدراسة او ينعدم بين انقمام الاهوية والمقامات  
المتوالية

ولم نذكر الى هنا الا ما يتعلق بتوازي الاضلاع البسيط للقوى اى الذي لم يتكون  
الامن من كبتين ومحصلتها

ولنفرض الآن ان هناك ثلاث مركبات مؤثرة في نقطة مادية كمنطقة أ  
(شكل ١٤) وليكن  $\overline{AB}$  و  $\overline{AC}$  و  $\overline{AD}$  اجزاء من مستقيم واحد  
دالة طولها واتجاهها على المركبات الثلاثة المذكورة فاننا ربما متوازي الاضلاع  
وهو  $\overline{ABD}$  باعتبار مستقيمي  $\overline{AB}$  و  $\overline{AC}$  كضلعين له كان وزه  
وهو  $\overline{AD}$  دالا على مقدار محصلة القوتين الاوليين واتجاههما بمعنى ان  
الجسم الواقع عليه تأثير قوتي  $\overline{AB}$  و  $\overline{AC}$  معا او قوة  $\overline{AD}$  وحدها  
يقطع مسافة واحدة في اتجاه واحد وزمن واحد

ولتركب محصلة  $\overline{AD}$  الجزئية مع القوة الثالثة وهي  $\overline{AD}$  فيحدث من  
المستقيمين الدالين عليهما متوازي الاضلاع وهو  $\overline{ADF}$  ويكون  $\overline{AF}$   
الذي هو وترهنا الشكل الجديد دالا بالضرورة على محصلة  $\overline{AD}$  و  $\overline{AD}$   
الا ان التأثير الحادث من  $\overline{AD}$  يكون مكافئا للتأثير الحادث من قوتي  $\overline{AB}$

و  $\overline{ا\theta}$  فاذن يكون التأثير الحادث من قوة  $\overline{ا\phi}$  مكافئاً للتأثير الكلى الحادث من قوى  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\delta}$  الثلاثة  
ويمكن الوصول الى هذا الحاصل بكيفية اخرى وهى انه متى كانت قوتان كقوتى  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\theta}$  (شكل ١٥) مؤثرتين في جسم بحجم  $\overline{ا}$  فان اثرت فيه القوة الاولى وهى  $\overline{ا\beta}$  وحدها في زمن معلوم فانها تنقله من  $\overline{ا}$  الى  $\overline{ب}$  وان اثرت بعدها القوة الثانية وهى  $\overline{ا\theta}$  وحدها فانها تنقله ايضا من  $\overline{ب}$  الى  $\overline{ه}$  بالتوازي لقوة  $\overline{ا\theta}$  بحيث يكون  $\overline{ب\theta} = \overline{ا\theta}$  ثم ان اثرت فيه قوة ثالثة كقوة  $\overline{ا\delta}$  وحدها فانها تنقله من  $\overline{ه}$  الى  $\overline{ف}$  بالتوازي لقوة  $\overline{ا\delta}$  بحيث يكون  $\overline{ه\delta} = \overline{ا\delta}$  وبالجملة فالجسم المذكور الواصل الى  $\overline{ف}$  بالتأثير المتوالى الحادث من القوى الثلاثة يكون موجودا مع الضبط في النقطة التي كان يصل اليها لو كانت هذه القوى الثلاثة كلهما مؤثرة فيه في زمن واحد لاجل نقله وهذه الكيفية لاتغاير الكيفية السابقة الا يكون هادون المتقدمة في الصعوبة وذلك لانه يقص فيها الضلع الثالث والرابع من متوازي اضلاع شكل ١٤ فانما كان هنا لئلا ندما من القوى كقوى  $\overline{وا}$  و  $\overline{وب}$  و  $\overline{و\theta}$  الخ (شكل ١٦) المؤثرة في نقطة مادية فان هذه النقطة تنقل في زمن معلوم الى مسافة ابعد من المسافة التي نقل اليها الجسم في صورة ما اذا اثرت فيه القوى كل واحدة على حدة مع التوالى لاجل نقله الى اتجاهها الاصلى في الزمن المذكور وحيث ان هذا المتوالى مستقيمات  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\delta}$  الخ موازية ومساوية في الطول لمستقيمات  $\overline{وب}$  و  $\overline{و\theta}$  و  $\overline{ود}$  الخ ثم نصل نقطة  $\overline{وا}$  الاولى بنقطة  $\overline{ه}$  الاخيرة من هذه الاضلاع المتسلسلة فيكون مستقيم  $\overline{وه}$  دالا على محصلة جميع المركبات الميمنة بمستقيمات  $\overline{وا}$  و  $\overline{وب}$  و  $\overline{و\theta}$  و  $\overline{ود}$  الخ فاذا غلقنا حيث نبتدئ بمستقيم  $\overline{وه}$  كثير الاضلاع وهو  $\overline{وا\theta\delta\ldots ه}$  و

كان هذا المستقيم دالا على المحصلة الكلية متى كان كل من الاضلاع دالا على  
قوة مركبة

فاذا عكست محصلة  $\overline{وه}$  الى  $\overline{وه}$  فان هذه القوة المحصلة المضادة  
للمركبات بدون واسطة تكون موازنة لتلك المركبات ومن هنا الدعوى النظرية  
اللطيفة المنسوبة الى المهندس لينتز وهي اذا كان هنالك قوى بدرجات  
واقعة على نقطة مادية وكانت هذه القوى مينة مقدارا واتجاهها في سمت  
ستتابع باضلاع شكل كثير الاضلاع منتظما كان او غير منتظم غير انه يكون  
تاما ومغلوقا فان هذه القوى كلها تكون متوازنة بالضرورة

ويوجد في كثير الاضلاع وهو  $\overline{م ن ح خ ر ض}$  (شكل ١٧) زاوية  
داخلية كزاوية  $\overline{خ}$  وهذه الزاوية لا بد منها في كل كثير الاضلاع لان اتجاه

سهم  $\overline{خ ر}$  يدل على الجهة التي ينبغي ان يرسم فيها ضلع  $\overline{خ ر}$  لتكون  
القوى المتوازنة متعاقبة كلها في جهة واحدة وبالملة فكل ضلع من كثير  
الاضلاع يدل على مقدار القوى واتجاهها

وقائد الكيفية التي اعتبر فيها تركيب القوى هي انما تستعمل ايضا في القوى  
المؤثرة في مستو واحد او عدة مستويات مختلفة وذلك مهم جدا في كثير  
من الحالات

وينتج من ذلك انه اذا لم تكن قوى  $\overline{وا}$  و  $\overline{وب}$  و  $\overline{وث}$  و  $\overline{ود}$  الخ  
(شكل ١٦) كلها في مستو واحد لا تكون اضلاع  $\overline{كثير}$  الاضلاع

وهو  $\overline{وا ر ش د}$  الخ الموازية لاتجاهات تلك القوى كل نظيره في مستو  
واحد غير انه في هذه الصورة تكون محصلة جميع القوى وهي  $\overline{وه}$  مينة  
مقدارا واتجاهها بمستقيم  $\overline{وه}$  الممتد من نقطة  $\overline{و}$  التي هي مبدا كثير  
الاضلاع وهو  $\overline{وا ر ش د}$  الخ الى نقطة  $\overline{ه}$  التي ينتهي فيها آخر الاضلاع  
الدالة على القوى المركبة

وكما سئل هل كثير الاضلاع وهو واحد الخ على الورق او على الارض اذا كان هذا الشكل بتمامه في مستو واحد كان عمله صعبا ومتعبا اذا لم تكن اضلاعه التي يتركب منها في مستو واحد

هذا وقد ظهر لنا مما سبق في الدرس الثالث والسابع والثالث عشر من الهندسة في الجزء الاول من التعريفات والقضايا طريقة مختصرة مضبوطة في تحصيل اتجاهات المحصلة ومقدارها مهما كان عدد القوى المركبة واتجاهها ومقدارها

وحاصلها انه لاجل تحصيل مستقيم م ن (شكل ١٨) الموضوع على مستو بالنسبة الى محوري و س و و ص يكفي أن تنزل من نهايتي هذا المستقيم بعمودين على محوري السقط المذكور فيكون جزأ م و م المحصوران بين هذين العمودين هما المقطعان المطلوبان

فاذا مددنا م م الى ا و م م الى ب فانه يحدث متوازي الاضلاع وهو ا ب الذي يمكن اعتبار م ن فيه كقوة محصلة

مركبتها هامينتان بمستقيمي م ب = م و م ا = م حيث ان هذين المستقيمين الاخيرين متوازيان ومحصوران بين متوازيين آخرين كما تقدم في الدرس الثاني من الهندسة

وماذا كرناه في شان القوة الواحدة يمكن اجراؤه في قوتين او ثلاثة او اربعة او اكثر من ذلك ومهما كان مقدار القوى واتجاهها فان كل واحدة منها تكون مينة بمقطعيها على محورين متقاطعين

فاذا كان هنالك عددا من القوى مثل م ن و ن ح الخ (شكل ١٨) فانه يكفي أن نأخذ مساطيحها على محوري و س و و ص المتقاطعين ثم نعتبر أن الجسم يتحرك من جهة على و س بقوى م و ح و ح الخ ومن جهة اخرى على و ص بقوى م و ح و ح الخ فيكون التأثير الناشئ عن ذلك واحدا دائما لانه حيث يذ يكون مستقيم



م ن ح الخالق لكثير الاضلاع وهو م ن ح خ دالا على محصلة قوى

م ن و ن ح و ح خ ويكون مسطاهما م غ و م غ هما مجموع الساقط الجزئية او فاضلها فاذا كانت قوى م د و د ح و ع غ الخ  
و م د و د ح و ع غ الخ مؤثرة على مستقيم واحد فان محصلها  
تكون اقلا متجهة على هذا المستقيم وثانيا تكون مساوية لمجموع  
سائر القوى المتجهة الى جهة ناقصا مجموع القوى المتجهة الى اخرى تقابلها  
ولاشئ اسهل في العمل من هذا البيان

ولنفرض (شكل ١٧) بجملة من القوى مينة بمستقيمات م ن

و ن ح و ح خ الخ فاذا اسقطنا هذه المستقيمات على محور و س  
في م د و د ح و ع غ الخ فان قوى م غ و ر ضه يكون  
نفعهما الى جهة مضادة بلهة م د و د ح و غ ر الخ وعلى ذلك  
تكون المحصلة مساوية م د + د ح + ع غ - غ ر + ر ضه  
ومن البديهي ان م د + د ح - ع غ هو م غ وان غ ر  
ـ ر ضه هو غ ضه فاذن تكون المحصلة الكلية مساوية م غ + غ ضه

اعني م ضه وهذا الجزء المحوري هو مسقط م ص الذي يغلظ كثير  
الاضلاع لقوى وبناء على ذلك يكون هو الدال على محصلة م ن

و ن ح و ح خ الخ

فاذا كانت جميع قوى م ن و ن ح و ح خ الخ (شكل ١٨)  
في مستوى محوري و س و و س فان التمركات الحادثة من نقطة  
م على محوري المسقط تكون دالة دلالة تامة على التمركات الحادثة  
من م بواسطة قوى مركبة ايا كانت كقوى م ن و ن ح

ح خ الخ

ولكن اذا لم تكن القوى المذكورة في مستوى المحورين لزم اخذ ثلاثة محاور عمودية على بعضها بأن نأخذ مثلا مستويا رأسيا ومستويين اثنين احدهما متجه من الشمال الى الجنوب والاخر من المشرق الى المغرب وعلى ذلك اذا اترنا على المحاور باحدة من نهايتي كل مستقيم دال على قوة كانت المساوقة دالة على ثلاث قوى بحيث يقول الامر الى ان النقطة المادية المنقرضة بالتوالي على اتجاه كل من القوى المذكورة تصل الى الوضع الذي كانت تصل اليه لو كانت متمررة بقوة واحدة اصلية وكذلك يتضح بواسطة متوازي الاضلاع تحليل قوتين وتركيبهما على مستوى ويتضح ايضا بواسطة متوازي السطوح تحليل وتركيب ثلاث قوى في الفراغ كما تقدم في الدرس السابع من الهندسة الذي تكلمنا فيه على متوازيات السطوح

وحيث اذا امددنا وتر  $\overline{أغ}$  (شكل ١٩) من زاوية  $\overline{أ}$  الى زاوية  $\overline{غ}$  المقابلة لها في المثلث  $\overline{أ ب غ}$  اذا اخذنا الوتر  $\overline{أ د}$  كور مع اضلاع  $\overline{أ ب}$  و  $\overline{أ ث}$   $\overline{ب د} = \overline{أ د} = \overline{ه غ}$  الثلاثة فحصل من ذلك كثير اضلاع  $\overline{أ ب ه غ أ}$  مغلوفا من سائر جهاته فاذن يمكن أن نعتبر ان  $\overline{أ غ}$  الذي هو ضلع كثير الاضلاع المذكور يكون دالا مقدارا واتجاها على قوة  $\overline{أ غ}$  المتوازنة مع القوى الثلاثة الميمنة على وجه التناظر مقدارا واتجاها بمستقيمات  $\overline{أ ب}$  و  $\overline{أ ث}$  و  $\overline{أ د}$

فعلى ذلك اذا كانت قوة  $\overline{أ غ}$  مثلا تنكفي في قلة نقطة  $\overline{أ}$  الى نقطة  $\overline{غ}$  في زمن معلوم فان قوة  $\overline{أ ب}$  تنقل في زمن مساو لهذا الزمن النقطة المذكورة من  $\overline{أ}$  الى  $\overline{ب}$  ثم تنقل كذلك قوة  $\overline{أ ث}$  في زمن مساو له نقطة  $\overline{أ}$  من  $\overline{ب}$  الى  $\overline{ه}$  وكذلك قوة  $\overline{أ د}$  تنقل في زمن مساو له ايضا

قطعة ١ من ٥ الى غ

فان اذا كانت القوى الثلاثة الميئة بمسقطات **أ ب و** **ا ث و** **ا د** مؤثرة معا فانها تنقل ١ الى غ في عين الزمن الذي تكون فيه كل من

هذه القوى مؤثرة على حثتها بالتوالي والذي تكون فيه محصلة **أ غ**

مؤثرة دون غيرها

ولنبه هنا على انه اذا اطلق اسم محاور المسقط على مسقطات **أ ب و** **ا ث و** **ا د** فان اجزاء **أ ب و** **ا ث و** **ا د** تكون بالضبط على هذه

المحاور مساطولوز **أ غ** الذي هو محصلة تلك القوى الثلاثة

ثم ان هذه الطريقة التي سلكناها وان كانت مطوّلة الا انه لا بد منها حتى يعرف ان الخواص التي يستصعبها المبتدى ويهاجمها انما هي من قبيل المبادئ

واذا حللنا كلام من القوى التي يمكن وقوعها على جسم واحد الى قوتين موازيين لمؤثرين معلومين او الى ثلاث قوى موازية لثلاثة محاور معاومة فانه ينصل من ذلك كثير من القوى الموازية لكل محور بتدريما يوجد من القوى المختلفة الواقعة على الجسم مهما كان مقدارها واتجاهها وبذلك يؤول تأثير القوى التي لامشابهة بينها من حيث اتجاهاتها الى تأثير القوى المتوازية بلا واسطة

فاذا كان لسائر القوى المتصلة من التحليل المذكور محصلة واحدة مارة بمركز ثقل الجسم فانه كما تدوير الجسم المذكور الى الامام على خط مستقيم بدون دوران كالمحولة الى قوة واحدة مساوية لمجموعها وموازية لاتجاهها المشترك بينها

واذا كان لسائر القوى المذكورة محصلة غير مارة بمركز الثقل المتقدم فان هذه المحصلة تؤثر في الجسم تأثيرا يديره ويلزم الاعتناء بالبحث عن كيفية حصول

هذا التحرك فنفرض أن قوة  $\overline{AS}$  لا تكون مارة بمركز الثقل وهو  $\overline{G}$

(شكل ٢٠) فمن حيث أن  $\overline{GA}$  عمود عمدة من نقطة  $\overline{G}$  إلى  $\overline{AS}$  الذي هو اتجاه تلك القوة فإن تحرك الجسم لا يتغير متى أضيف إليه قوة واحدة

كقوة  $\overline{AG}$  موازية ومساوية لقوة  $\overline{AS}$  وقوتان كقوتى  $\overline{AS}$

و  $\overline{AG}$  الموازيان لقوة  $\overline{AG}$  المتجهتان بالتضاد والمساوية كل واحدة

منهما لنصف  $\overline{AG}$  والموضعتان على وجد بحيث تكون  $\overline{GA} = \overline{AG}$

لأن قوة  $\overline{AG}$  متوازنة مع  $\overline{AG}$  و  $\overline{AG}$  غير أن قوة  $\overline{AS}$

لما كانت نصف قوة  $\overline{AS}$  وكانت متجهة إلى جهة مضادة لها أعدمت

نصف  $\overline{AS}$  وبناء على ذلك يكون الجسم متحركاً بثلاث قوى أحدها قوة

$\overline{AG}$  المارة بمركز ثقل الجسم والمساوية لقوة  $\overline{AS}$  والثانية نصف  $\overline{AS}$

المؤثرة في جهة  $\overline{AS}$  والثالثة  $\overline{AG}$  المساوية لنصف  $\overline{AS}$  والمتجهة

إلى جهة مضادة لها

وحيث كانت القوتان المساويتان لنصف قوتى  $\overline{AS}$  و  $\overline{AG}$  بعيدتين

بالمساوية عن مركز الثقل وهو  $\overline{G}$  كانتا مؤثرتين تأثيراً بديلاً ومركز الثقل

المذكور بدون أن يسير إلى جهة أكثر من أخرى حيث لا مقتضى لكون

أحدى القوتين المذكورتين المتساويتين المتجهتين بالتوازي إلى جهتين

متقابلتين فتجذب المركز المذكور إلى جهتها زيادة عن القوة الأخرى

فعلى ذلك أولاً لا يتقدم مركز الثقل ولا يتأخر بواسطة تأثير نصف قوتى

$\overline{AS}$  و  $\overline{AG}$  وثانياً يكون هذا المركز منقولاً بتأثير قوة  $\overline{AG}$

على خط مستقيم بالنسبة إلى تأثير قوة مساوية لقوة  $\overline{AS}$  وموازية لها

وبناء على ذلك إذا كان هناك عدة قوى مؤثرة في جسم له صورة ما وحللتنا أولاً

جميع تلك القوى بالتوازي الى محاور معلومة ثم عينا ثانياً المحصلة الكلية للقوى المذكورة لاجل تطلها بالتوازي الى مركز الثقل فان هذا المركز يتحرك تحركاً مستقيماً كالألوان كانت تلك القوى واقعة كلها على مركز الثقل المذكور بدون واسطة وهذه هي القضية الشهيرة المتعلقة بحفظ مركز الثقل وتسعيته بذلك مما لا بد منه لاسيما في هذه الخاصية وهي أن التحركات الداخلية الحادثة في الجسم من تأثير اجزائه بعضها في بعض او من مقاومتها لبعضها لا تغير شيئاً من تحرك مركز الثقل بالنسبة لنقط الفراغ الخارجية

ثم ان لعب البليارد (وهي لعبة كبرى يلعب عليها بابا كرمغرة من العلاج اوسن القيل) يؤخذ منه عدة امثلة متنوعة واضحة جداً وخواص التحرك الحادث للجسام من تأثير قوة غير مارة بمركز تطلها فاذا دفع البيل (وهي كرة صغيرة من العلاج اوسن القيل) على غير اتجاه مركزه بل على يمينه مثلاً فانه يسير اولاً الى الامام بالسرعة التي كان يسيرها لو دفع على اتجاه مركزه وثانياً يكون له تحرك مستدير من اليمين الى الشمال وذلك مع السير الى الامام فاذا دفع من فوق مركز الثقل فانه يسير الى الامام ايضا مع السرعة التي كان يسير بها لو دفع على اتجاه مركزه ويكون له تحرك دوران من فوق الى تحت وذلك ايضا مع سيره الى الامام

وقد يكون التأثير بخلاف ذلك اذا وقع البيل على شمال مركز الثقل او تحتها فاذا دفع من تحت مركز الثقل فان المقاومة الحادثة من احتكاك سطح البليارد بالبيل تكون متزايدة واذا دفع من تحت المركز وكان ذيل قضيب الدفع مرفوعاً فانه يسير مع البطء كالألوان كان ذيله مؤثراً بالتوازي للبليارد وحيث يمكن ان سرعة الدوران تنقل الى الغاية التي لا تعتمد فيها السرعة المذكورة بتجاهها بسبب الاحتكاك المذكور عند انعدام سرعة البيل المتوالي وزوالها بالكلية وحيث كانت مقاومة سطح البليارد مستمرة دائماً كالقوة المعطلة كان بعض هذه المقاومة منقصة لسرعة دوران البيل والبعض الآخر مؤثراً كالألوان كان منقولا الى مركز البيل المتأخر بذلك البعض وهذا هو السبب في أنه يمكن من اول دفعة

من ذيل قضيب البليار تقديم البيل ثم تأخير  
وهناك تأثيرات مشابهة لتأثيرات لعب البليار فوجد في تحرك كل المدافع  
والقناوير ويحصل منها فوائد عظيمة جدا معروفة من اهم الاشياء في فن الحرب  
وهي القرض الاصلى من فن الطوبجية

\*(الدرس السادس)\*

في بيان الالات البسيطة وهي الحبال والقناطر المتعلقة وعد دخول العربات  
وادوات السفن ولوازمها وما شابه ذلك

يطلق اسم الالات على الاجزاء المادية المجمعة المستعملة لنقل اى قوة من  
القوى بان يغير اتجاهها او سرعتها او المسافة الاقية التى يقطعها الجسم  
في زمن معلوم

والالات البسيطة سبع ومنها تألف جميع الالات المركبة وهذه الالات  
البسيطة هي الحبال والرافعة والبكر والمخاف (اى المنضيق) والمستوى المائل  
والبريمة والنابور وسنين كلامها تفصيلا على حسب ما تقتضيه اهمية  
موضوعه ولنشرع في ذكرها على هذا الترتيب فنقول

\*(بيان الحبال)\*

قد فرض المهندسون اولاً لاجل سهولة معرفة خاصية الحبال المستعملة  
لنقل القوى انها لينة وغير قابلة للامتداد ومجردة عن التناقل ثم تكرر والمباين  
اعتباره فيها من شدتها كثيراً او قليلاً ومدتها وتناقلها فخصوا (بالنظرت  
والجربة) عن التغيرات التى يمكن عرضها للعوامل الاصلية بخواص  
المادة التى تتركب منها الحبال المذكورة

ثم ان تحويل المسائل الصعبة الى اصولها السهلة ليس الا كيفية عقلية بها  
يتقوى الفهم السليم وتسهل وساطة العمل فلما اترناها في البحث عن خواص  
الحبال وسائر الالات البسيطة

فلنفرض اذن حبلاً على غاية من اللين غير قابل للامتداد ومجرداً عن التناقل  
ثم نبيد بايقاع قوة واحدة على كل من طرفي هذا الحبل ونفرض ان هاتين

القوتين الشاذتين للعبل في جهتين متقابلتين متساويتان فبناؤيهما يكون  
الحبل مشدودا شدا مستقيما وطرفاه على اعظم بعد ممكن فعلى ذلك تكون القوتان  
المذكورتان متوازيتين اذ لا داعي لكون الحبل المشدود من طرفيه يتقدم  
الى جهة اكثر من اخرى

فاذا كان هناك قوة ثالثة شاذة للعبل في جهة احدى القوتين الاوليين  
فان هاتين القوتين بعد ما نبعضهما ويكون تحرك الحبل من جهة القوة الثالثة  
تقط كالمكانت القوتان الاوليان لم يوجد اصلا وهذا التحرك الحادث على اتجاها  
الحبل لا يمنعه من أن يكون على خط مستقيم فاذن لا يكون الحبل مشدودا  
الابا القوة الثالثة واما القوتان الاوليان المتوازيتان فلا يفصل منهما الا هذا  
التوازن الثاني عن شد كل منهما للعبل

وبتعبية ذلك تكون واحدة مهما كان طول الحبل ويؤخذ من ذلك ان الشد  
الحادث يكون ايضا واحدا في كل من نقط الحبل التي هي **ث** و **آ** الخ  
وبالجملة فلاجل معرفة شد الحبل من نقطة منه كنقطة **ث** (شكل ١)  
فترض ايق قوتي **آس** و **بص** على تلك النقطة وكذلك لاجل  
معرفة شدة من نقطة **آ** فترض ابقاع قوتي **آس** و **اص** عليها  
ولا يتغير تأثير هاتين القوتين مهما كانت نقطة وقع عليها

وينتج من ذلك ان شد الحبل من نقطة **ث** مثلا يكون (كما تقدم قريبا)  
واحدا كما في طرف **آ** فاذن يكون الشد واحدا في جميع اجزاء الحبل  
ولنفرض الان انه يكون للعبل في جميع طوله قوة ابنة ماعدات نقطة واحدة  
تكون اصعب من غيرها فبازيادة القوتين المتضادتين تدريجا بكمية واحدة  
يتوصل الى شد يكون فيه الشد (المفروض انه واحد في اعداد النقطة المذكورة)  
قليل لاجل نقص الحبل في النقطة الضعيفة المذكورة دون غيرها من النقط  
الاخرى فاذن يحصل نقص الحبل في هذه النقطة ويكون التوازن معدوما  
وهذه الكيفية هي التي تستعمل في القنون مع الضبط لقياس قوة الحبال فاذا اريد  
استعمال الحبال في شيت الاشياء التي ينبغي المحافظة على اسلاكها وفي تعليقها

فلا بد من تحقق أن هذه الحبال تفعل ما يعرض لها من المجهودات العظيمة بدون قص ولا انقطاع وعلى ذلك فيلزم أن نعرف من مبدء الامر المقاومة التي قبلها تلك الحبال والفتن المتخذة من الحديد المستعملة الآن عند البحارة القرنساوية لانه اذا نظرت في كل كبلية من السلسلة الى رداية الحديد المتخذة منه او رداية صناعته يكتفى احدى قوة في جعل القوة عرضة للكسر كما اذا كانت الكبلات كلها على هذا النسق

واذا كان الحبل قصيرا ظلت الموانع التي تمنعه عن أن يكون في بعض نقطه اضعف منه في البعض الاخر واذا اخذنا طرفي حبل غير متساويين في الطول وشددناهما شدا متساويا فان الطرف القصير منهما يكون قابلا لتعمل جهد عظيم من غير انقطاع اكثر من الطرف الطويل ولنفرض ان كلاما من الطرفين يقع عليه قوى متعددتا عن القوة الواحدة

فلتكن ا س هـ و ا س هـ و ا س هـ الخ (شكل ٢) هي القوى المؤثرة في الحبل من احد طرفيه و ب ص هـ و ب ص هـ و ب ص هـ الخ هي القوى المؤثرة فيه من الطرف الاخر فيمكن ابدال قوى ا س هـ و ا س هـ و ا س هـ الخ بقوة واحدة تكون محصلة لها وكذلك تبدل قوى ب ص هـ و ب ص هـ و ب ص هـ الخ بقوة واحدة تكون ايضا محصلة لها ثم نعين تلك القوة بموجب القوانين الاعتيادية المتعلقة بتركيب القوى فترسم كثيرا اضلاع تكون اضلاعه مساوية وموازية للمستقيبات الثلاثة على جهة القوى الاولى وكثيرا اضلاع آخر تكون اضلاعه مساوية وموازية للمستقيبات الثلاثة على جهة القوى الثانية ويكون مستقيما ا س و ب ص الفاتقان لكثيري الاضلاع المذكورين دالين على المحصلتين ويلزم لاجل التوازن ان تكون المحصلتان متجهتين الى جهتين متضادتين على اتجاه حبل ا ب وأن يكونا متساويين



فإذا لم تكن القوتان متساويتين حصل التحرك في جهة كبراهما وتكون  
السرعة على نسبة متعكسة لجسم الحبل المعلق للتحرك وهكذا ( كما تقدم  
في الدرس الثاني )

\*( تطبيق ما تقدم على ضرب النواقيس ) \*

النواقيس التي تضرب في الكائنات مشدودة بحبل أ ب الرأسى  
( شكل ٣ ) فإذا كان الناقوس ضمناً بحيث لا يمكن لشخصين أو ثلاثة  
ضربهم مع السهولة بشدهم جميعاً للحبل المذكور فإنه يربط في الطرف الأسفل

من حبل أ ب الأصلي جبال صغيرة كجبال أ م و أ ن و أ هـ الخ  
ويقبض كل منهم على هذه الجبال ويشدونها كي يحدث للناقوس التحرك  
الموافق له ولاجل تحصيل المحصلة يكفي عمل كثير الاضلاع وهو

أ م س ن الخ الذي تدل اضلاعه وهي أ م و م س و س ن الخ  
مقداراً واتجاهاً على قوى أ م و أ ن و أ هـ الخ

وبمستقيم أ س بين نقطة أ ونهاية الضلع الأخير يخلق كثير الاضلاع  
لقوى الذي يكون فيه هذا المستقيم دالاً على المحصلة وبالجملة فيلزم في الصورة  
التي نحن بصدد ها أن تكون هذه المحصلة في اتجاه حبل أ ب الرأسى

ويقف عادة ضاربو الناقوس المتقاربون في القوة على شكل دائرة ويكونون  
على بعد واحد من بعضهم بحيث يكون مركز هذه الدائرة في الوضع الرأسى  
لحبل أ ب وبهذا الوجه تمر محصلة قواهم ضرورة بمستقيم أ ب

\*( بيان الكبش ( أي الشامردان ) وهو آلة المعلقة لدى الخواريق ) \*

ما ذكرناه في صورة ضرب النواقيس يجري أيضاً فيما إذا اردت أن يشد بحبال  
صغيرة لحبل الأصلي الذي يحرك الكبش المستعمل لدى الخواريق وقد غلب  
على هذا الآلة اسم آلة الضرب لأنها تضرب كناقوس الكنيسة النغم ولاجل  
الوقوف على حقيقة هذا الآلة يلزم معرفة خواص البكرات

ولم تكلم الى هنا الاعلى الجبال المشدودة من اطرافها تقط ولنفرض زيادة على ذلك انها تكون مشدودة من نقطة متوسطة فنقول

ليكن  $\overline{AS}$  و  $\overline{BS}$  (شكل ٤) هما القوتان الواقعتان

على  $\overline{A}$  و  $\overline{B}$  اللذين هما طرفا حبل  $\overline{AB}$  و  $\overline{SZ}$  هي القوة الواقعة على نقطة  $\overline{S}$  المتوسطة فتكون هذه القوى الثلاثة متوازنة

عند قتل  $\overline{BS}$  الى  $\overline{S}$  و  $\overline{AS}$  الى  $\overline{S}$  فيكون

$\overline{SZ}$  الذي هو وتر متوازي الاضلاع الحادث على ضلعي  $\overline{S}$

و  $\overline{S}$  مساويا ومقابلا لقوة  $\overline{SZ}$  على وجه العصاة والضبط

ولنفرض ان قوة  $\overline{AS}$  (شكل ٥) المينة بمستقيم  $\overline{S}$

وقوة  $\overline{BS}$  المينة ايضا بمستقيم  $\overline{S}$  يكونان متساويتين

فان ذلك يكون متوازي الاضلاع وهو  $\overline{SZ}$  شكلا معيناً وتكون

زاويتا  $\overline{SZ}$  و  $\overline{SZ}$  متساويتين بمعنى ان مستقيمي

$\overline{AS}$  و  $\overline{BS}$  يحدثن عنهما مع اجمعه محصلة  $\overline{SZ}$

زاوية واحدة

ولكن تكون قوة  $\overline{SZ}$  قريبة او بعيدة عن  $\overline{BS}$  اكثر من

$\overline{AS}$  على حسب كبر  $\overline{S}$  او صغره عن  $\overline{S}$  وذلك متعلق

بصورة مثلث  $\overline{SZ}$  و  $\overline{SZ}$  المتساويين

فاذا كان هناك اربع قوى كقوى  $\overline{AS}$  و  $\overline{BS}$  و  $\overline{AS}$

و  $\overline{BS}$  (شكل ٦) واقعة على قطبي  $\overline{S}$  و  $\overline{S}$  يلزم

ان يكون التوازن حاصلًا حول كل من النقطتين المذكورتين وهما جزًا

فاذا كان حول نقطة  $\overline{S}$  متلاقوتا  $\overline{AS}$  و  $\overline{BS}$  اللتان يلزم

أن تكون محصلتهما متجهة على امتداد  $\overline{ثث}$  ودالة على الشد الكلى  
الحادث من هاتين المركبتين على جبل  $\overline{ثث}$  الصغير فبرسم متوازي  
الاضلاع وهو  $\overline{ثص}$  زمره الذي فيه  $\overline{ثص} = \overline{أس}$  و  $\overline{ثص}$   
 $= \overline{بص}$  يحدث أن  $\overline{شز}$  يساوي شد جبل  $\overline{بث}$   
وكذلك نقطة  $\overline{ث}$  فانه اذا رسم متوازي اضلاع  $\overline{ثص}$  زمره  
الذي فيه ضلع  $\overline{ثص} = \overline{أس}$  و  $\overline{ثص} = \overline{بص}$   
يحدث أن  $\overline{شز}$  يساوي شد الجبل ولاجل توازن  $\overline{ثث}$  يلزم  
أن يكون شدا  $\overline{شز}$  و  $\overline{شز}$  المتضادان متساويين

ولنبه هنا على ان تعيين شدود  $\overline{اث}$  و  $\overline{ثث}$  و  $\overline{ثأ}$  الخ المتنوعة  
لا علاقة له بطول اجزاء  $\overline{اب}$  و  $\overline{بث}$  و  $\overline{ثأ}$  الخ وانه عند  
زيادة هذا الطول او قصه بتغير حالة الشدود ما عدا توازنها فاذن يمكن  
أن يفرض انعدام واحد منها او أكثر بدون أن ينعدم ذلك التوازن وبناء  
على ذلك اذا كان هناك عدة قوى واقعة على نقط متنوعة من جبل واحد  
فبايقا عما كلها على نقطة واحدة منه بدون تغيير مقدارها واتجاهها  
مع نقلها بالتوازي لنفسها وتخليصها من الجبل المذكور تكون متوازنة  
فاذا كان هناك جبل مشدود بقوى واقعة على نقط مختلفة حدث عنه شكل  
كثير الاضلاع ولهذا يسمى كثير الاضلاع الجبالي ويلزم أن تكون القوى  
المؤثرة حول كل نقطة متوازنة مع الشدود الحادثة من اضلاع كثير الاضلاع  
الذي تكون هذه النقطة رأساه

وتم امثلة عديدة تتعلق بتوازن كثير الاضلاع الجبالي وذلك اذا علقنا احمالا  
في جبل لا يكون طرفاه على رأسى واحد وصيظهر لك من القناطر المعلقة التي  
ممكنكم عليها في آخر هذا الدرس مثلكم آخري شأن الاشكال الكثيرة الاضلاع

الجبالية وفي شأن فائدة تقوياتها

ولتكن  $\overline{اصه}$  و  $\overline{ببز}$  و  $\overline{شش}$  و  $\overline{دوق}$  (شكل ٧) قوى  
 رأسية فتكون محصلتها وهي  $\overline{رر}$  رأسية ايضا مساوية لجمعها  
 ولا مانع أن تكون هذه المحصلة معينة بدون واسطة بالدعوى النظرية المتعلقة  
 بالقوى المتوازية ولاجل حصول التوازن في كثير الاضلاع الجبالية يلزم  
 أن قوة  $\overline{رر}$  الدالة على مجموع قوى  $\overline{اصه}$  و  $\overline{ببز}$  و  $\overline{شش}$  و  $\overline{دوق}$   
 توازن شد طرفي الجبل اللذين هما  $\overline{آ}$  و  $\overline{د}$  وذلك يقتضى أولا أن  
 انجباى قوى  $\overline{اصه}$  و  $\overline{دع}$  المتطرفين يتقاطعان في نقطة  $\overline{و}$  على  $\overline{رر}$   
 التي هي محصلة القوى المتوازية وثانيا انه اذا اخذنا  $\overline{وسه} = \overline{اصه}$   
 و  $\overline{وع} = \overline{دع}$  على مستقيمي  $\overline{واسه}$  و  $\overline{ودع}$  فان وزن متوازي  
 الاضلاع الحادث على هذين الضلعين يكون مساويا  $\overline{رر}$  مساواة صحيحة  
 ويكون رأسيا كسائر القوى المركبة

واما الشدود الحاصلة من اجزاء جبل  $\overline{ابشد}$  المتنوعة فانه يسهل  
 دائما تعيينها باعتبار أن كل قوة موازية مثل  $\overline{اصه}$  و  $\overline{ببز}$  الخ كوتر  
 متوازي الاضلاع الذي ضلعه عمودان وهما  $\overline{اصه}$  و  $\overline{اب}$  او  $\overline{اب}$   
 و  $\overline{ببث}$  او  $\overline{ببث}$  و  $\overline{شش}$  الخ فتكون اضلاع هذا الشكل  
 دالة على شدود الجبال الصغيرة وبهذا الوجه يعين شد طرفي كل جبل صغير  
 كجبال  $\overline{اب}$  و  $\overline{ببث}$  و  $\overline{شش}$  فاذا كان التوازن باقيا على حاله  
 لزم أن يكون هذا الشد باقيا على حاله ايضا في طرفي كل جبل صغير لان الجبل  
 بدون ذلك يتقدم الى جهة الشد الاكبر كما لو اثر فيه مباشرة قوتان  
 غير متساويتين

ولنتكلم هنا على تناقل الجبال مبتدين بالجبل المثبت من طرفيه والمخلى وقسه  
 معلقا فتقول

يمكن أن نعتبر ان هذا الجبل مركب من عدد غير محدد ومن المستقيبات الصغيرة

المتساوية للثلاثة قليلا على بعضها بحيث يحدث عنها النخى الذى يقبعه الحبل  
المذكور ليكون بذلك متوازيا وما كانا فاذا اعتبرنا حبلين اى ضلعين من هذه  
الاضلاع الصغيرة المتواليه كضلعى أ ب و ب ث (شكل ٨) كانت  
محصوله نقل كل منهما قوة مارة بمنتصفهما وهما م و ن فيحدث  
حيثئذ عدة قوى ك كوى م م و ن ن و و ز متوازية  
ومتساوية وموضوعة على وجه بحيث تكون قوتها وهى م و ن  
و و على بعد واحد من بعضها

وتكون محصلة تلك القوى مساوية لمجموعها ومتجهة اتجاهاها رأسيا  
ولتكن ر ر رمز الى هذه المحصلة فيلزم بحسب ما تقدم ان ف ف  
و غ غ اللذين هما الضلعان الاخيران من كثير الاضلاع الحبالى يتقاطعان  
بواسطة امتدادهما على محصلة ر ر المذكورة

وبناء على ذلك يتقاطع تمام النخى ف أ ب . . . غ فى نقطى ف  
و غ دائما على اتجاها محصلة نقل الحبل الخلى ونفسه معلقا وهى محصلة  
مارة بمركز نقل الحبل المذكور

(وتستعمل هذه الخاصية عند علماء الرياضة فى تحصيل معادلة تماضلية  
تعلق بالنخى الحادث من الحبل الخلى ونفسه لتثاقله الا انه ليس فى القواعد  
المستعملة ما يكتفى فى تحصيل الكميات الجهولة الموجودة فى المعادلة التى تبين  
بها صورة ذلك النخى بكيفية صحيحة واما ارباب الفنون فيجتهدون أن يحسبوا  
هذا النخى ويعينوا جميع اجزائه بواسطة الاقيسة المتكررة ويصلوا بالعمل  
على وجه سهل الى تحصيل الخواصل التى لا يمكن أن يتوصل اليها  
يعلم التطليلات)

وقد يكون النخى الحادث من الحبل المتنى بواسطة تثاقله ياتيا على حالة

واحدة سواء كان هذا المنحنى جبلا لينا متواصلا او تكن سلسلة كبيرة كانت  
او صغيرة مركبة من كليات صغيرة فيحدث من هذه السلسلة شكل كثير  
الاضلاع مؤلف من عدد غير محدود من الاضلاع الصغيرة جدًا وذلك هو  
شرح هذه المسئلة وقد اطلق اسم السلسلة على المنحنى الذي تتبعه تلك السلسلة  
او جبل على غاية من اللين مثبت من طرفيه وعلى نفسه لتأثير التناقل  
ويكثر استعمال هذه السلسلة في فنون الميكانيكا وغيرها من الفنون  
المستظرفة

وتكون القن والسلاسل المشار اليها برمز  $\overline{AB}$  (شكل ١٤)  
التي بها توازن السفن مع قوى الهواء والتيار على صورة سلاسل كثيرة  
الانحناء او قليلته على حسب شدتها ومن هذا القبيل حبال السحب اى  
البانات التي يشدها الرجال او الخيول بواسطة حبال صغيرة مربوطه  
في قط مختلفه من الحبال الاصلية ثم ان شد الحبال الكبيرة والصغيرة  
والنقل واتعدام قوى الجر كل ذلك مسائل مهمة تحل بواسطة القواعد  
المذكورة في هذا الدرس ولتزد استعمال تلك السلاسل نوع اوضح فيما يتعلق  
بادوات السفن فنقول

يلزم أن تنسب الى السلسلة او الى كثير الاضلاع الحبال توازن الحواشيات  
وهي الحبال الممدودة من احد شاطئ الانهر الى الشاطئ الآخر وهي  
مربوطة في قط مرتفعة ارتفاعا كافيا بحيث تمر من قممها السفينة  
ذات الصاري ويمكن أن يجرى على الحواش (بواسطة البكر) الطرف  
الاعلى من الحبل الذي يكون طرفه الاسفل ممسكا للمركب وهذا الحبل  
اياما كان وضعه يقع عليه شد ناشئ عن التأثير الحادث في السفينة من التيار  
وقد يكون هذا الشد متوازنا مع شدين آخرين حادثين من جر من الحواش  
الموضوعين على يمين الحبل المسلك للمركب وعلى شماله ولاجل معرفة القوة



فاذا لم يكن طرفا السلسلة ( التي هي على صورة المنحنى ) وهما  $\overline{ه}$  و  $\overline{ب}$  موضوعين في ارتفاع واحد فاما اذا مددنا من طرف  $\overline{ه}$  الذي هو دون الطرف الاخر في ارتفاع خط  $\overline{هف}$  الافقي كان جزء السلسلة وهو  $\overline{هش}$  الموضوع تحت الافقي المذكور متائلا بالنسبة لعمود  $\overline{شرغ}$  التازل من نقطة  $\overline{غ}$  التي هي منتصف  $\overline{هف}$  وكانت نقطة  $\overline{ث}$  منخفضة عن جميع نقط السلسلة المذكورة

وحيث ان منحنى  $\overline{هش}$  متماثل بالنسبة لرأسي  $\overline{شرغ}$  فان مركز ثقل هذا المنحنى يكون على الرأس المذكور ولتد مستقيمي  $\overline{هو}$  و  $\overline{فو}$  مماسين للمنحنى المذكور في قطبي  $\overline{ه}$  و  $\overline{ف}$  ثم نأخذ جزء  $\overline{ور}$  الرأسى ونجعل  $\overline{د}$  الاعلى ثقل ذلك المنحنى فتكون اضلاع متوازي الاضلاع

وهو  $\overline{ورر}$  والاعلى الشدود الحاملة للسبل في تقطبي  $\overline{ه}$  و  $\overline{ف}$  وليكن المطلوب الآن الشد الحاصل في نقطة  $\overline{ث}$  التي هي اخفض نقط المنحنى فاذا مددنا  $\overline{شو}$  و  $\overline{وب}$  ( شكل ١٠ ) مماسين للمنحنى في تقطبي  $\overline{ث}$  و  $\overline{ب}$  فان مركز ثقل منحنى  $\overline{ثب}$  يكون على رأسى  $\overline{ورغ}$  الماز بنقطة  $\overline{و}$  ولتار من اعلى  $\overline{ورغ}$  و  $\overline{و}$  و  $\overline{وب}$

الممتدة متوازي الاضلاع وهو  $\overline{ورحض}$  فمقدل  $\overline{ورح}$  على ثقل قوس  $\overline{ثب}$  كان  $\overline{وض}$  دالاعلى الشد الحاصل في نقطة  $\overline{ث}$  ونخط  $\overline{ورخ}$  دالاعلى الشد الحامل من المنحنى في نقطة  $\overline{ب}$  لكن يرى في متوازي الاضلاع المذكور أن  $\overline{رخ} = \overline{وض}$  وحيث ان  $\overline{ورحض}$  مثلث قائم الزاوية فان  $\overline{ورخ}$  يكون دائما اطول من  $\overline{وض}$



يعني أن الشد الحاصل من المنحنى في نقطة ب يكون دائما اقوى من الشد  
الحاصل للمنحنى في نقطة ث

وكذا صعد الانسان الى اعلى حدث من مماس ب و و مع انماط الرأس  
زاوية حادة جدا وبقى طول و ض على حاله وازداد طول و ح كتقل  
المنحنى واخذ ضلع و ح في الازدياد فبلى ذلك يكون شد المنحنى عظيما جدا  
في نقطة الكثيرة الارتفاع

فاذا فرضنا حيقظ أن المنحنى له قوة واحدة في جميع طوله فان اول ما يحصل  
الاقطاع يكون في القط الاكثر ارتفاعا من غيرها فلو فرضنا أن المنحنى يقاوم  
في هذه النقطة لكائن مقاومة في النقط المتوسطة بالطريق الاول

فاذا استند في مثلث ح و ض (شكل ١٠) القائم الزاوية ضلع و ح  
الذي هو ماس زاوية و القائمة وبقى الضلع الاخر وهو و ض على حاله  
فان الضلع الاكبر وهو ح ض يتربش شيئا فشيئا من مساواة ح و  
ونفرض الا ن أن الشكل الذي يدل عليه منحنى ث ب (شكل ١١)  
و (شكل ١٢) يزيد من ارتفاعه او يتقص دفعة واحدة مع التناسب في جميع  
اجزائه فنقول ان التوازن يكون ثابتا لا يتغير اصلا وان صورة المنحنى بهذا  
السبب لا تتغير ايضا

وذلك لانه في المنحنى الجدي اذا كانت نقطة م مثلا في وضع ب يشبه وضع نقطة  
م في المنحنى الاول حدث من مماس م و مع رأس م و و الزاوية التي  
تحدث من مماس م و مع رأس م و د و و وحيث ان طول المنحنيين  
مناسب لبعض ب د و و فان نسبة ثقل منحنى و ح الى ثقل  
منحنى و ح تكون مساوية لنسبة شد و ح الى شد و ح الحاصلين  
للمنحنيين في تقاطع م و م

فلي ذلك يكون الشدان متزايدين من جميع الجهات في نسبة واحدة مع نقل  
الحبل و يكون وضعهما في هذا الحالة متشابه الوضعهما في الحالة الاولى فيكونان  
متوازنين عند تأثيرهما في مخزن صورته واحدة

ولذلك قاعدة اصلية وهي ان الشدين الحاصلين للمخنيين المتشابهين في نقطتين  
متشابهتي الوضع تكون نسبتها كقبة البعدين المتشابهين او المتقابلين  
في هذين المخنيين

فبناء على ذلك انا قائلان بين مخنيين متشابهي الشكل وكل واحد منهما اصغر من  
الاخر مرتين وانقل منه مرتين او اصغر منه ثلاث مرات وانقل منه ثلاث  
مرات او اصغر منه اربع مرات وانقل منه اربع مرات فان الشد الحاصل  
لهذين المخنيين في نقطتين متشابهتي الوضع يكون واحدا

ولتقابل الا ب بين الشدين الحاصلين لمخنيين غير متشابهين فلا غرض  
الامخنيات قليلة الانشاء جدا لاجل الاختصار في البحث والاقتصار  
في الاشغال على هذه الصورة العامة النفع في الفنون ونعتبر ان هذه المخنيات  
لها مثل واحد في طول واحد وغرض ان النقطة الثابتة تكون دائما على بعد واحد  
من بعضها

ومنى كان المنحنى  $\overline{أش}$  مثلا (شكل ١٣) انشاء دليل جدا امكن  
بدون خطأ كبير ان نعتبر ان مركز كل جزء  $\overline{ش ب}$  من هذا المنحنى  
يكون موجودا على رأسي  $\overline{هـ ف}$  المرسوم على بعد واحد من طرفي  $\overline{ش}$

و  $\overline{ب}$  فاذا اخذنا من نقطة  $\overline{غ}$  التي هي المركز المذكور رأسي  $\overline{هـ ف}$   
الى مستقيم  $\overline{أ ب}$  حدث معنا ان  $\overline{د ف} = \overline{ف ب}$  واذا انزلنا  
من نقطة  $\overline{ب}$  عمود  $\overline{ب ع}$  على  $\overline{ش هـ}$  المتدحدث معنا ان  
 $\overline{ش هـ} = \overline{هـ ع}$

ولجعل الا نقطتين في المنحنى كتقطعي  $\overline{ش}$  و  $\overline{ب}$  ثابتين ونعدهما سي  
 $\overline{ش هـ}$  و  $\overline{هـ ب}$  المتطرفين فيكونان ضلعين لتوازي الاضلاع وهو

ش ه ب ف الذي وتره ه ف ويكون هذا الوزن دالا على ثقل قوس  
ت ب وضلعاه وهما ه ب و ه ث دالين على الشدين الحاصلين  
للجبل في قطعي ب و ث

فإذا كان سهم شد صغيرا جتا بالنسبة لطول أب فلا فرق بين  
ش ب و ه ب وبين ف ب و ش ه فاذن يكون شد الجبل  
أو السلسلة الحادث عنها المصنى واحدة تقريبا في سائر امتداده غير أنه لأجل إبقاء  
الشد على حالة واحدة في جميع قطعه يلزم أن يكون سهم شد معدوما

فإذا اعتبرنا إلا أن ثقل المصنى ثابت ومدلول عليه بخط ور فإن الشد  
الحاصل للجبل في قطعة ب يكون مدلولاً عليه بخط ور فتمد لأجل

ذلك خر اخیال ور المتناهي هو امتداد عاس به

ولكن يوجد معنا مثلثا به و ور خ المشاهيان اللذان يوجد

فيهما به : به :: ور : ور فاذن يكون

$$\text{ور} = \text{ور} \times \frac{\text{به}}{\text{به}}$$

وحيث أن به يساوي شد و به يختلف قليلا

عن ١ شد فإنه إذا كان به = شد صغيرا جتا  
حدث على وجه تقريبي

$$\text{ور} = \text{ور} \times \frac{\text{بد}}{\text{شد}}$$

فإذا لم يتغير جيتد بعد طرفي أ و ب وثقل الجبل الذي يدل عليه ور

فإن شد ور يصير على نسبة منعكسة من سهم شد فاذن يلزم أن يكون

شد ور الحاصل في قطعة ب أو في قطعة أ عليهما جتا ليكون شد

صغيرا جدا او معدوما بالكلية وبناء على ذلك اذا كان هناك جبل مشدود شدا  
اقل من طرفيه فانه يلزم أن يكون مشدودا بقوتين عظيمتين جدا حتى يكون  
معدودا بالضغط مدامستقيما

وقد حق لنا أن نبرهن تفصيلا على هذه الحالة نظرا لمن يقول بصعوبتها فنقول  
اذا كان هناك جبل خفيف جدا وليس هناك ما يعارضه واريد شدا قويا  
من نقطتين موضوعتين على ارتفاع واحد فانه يتعذر شده من النقطة التي  
يكون فيها مستقيما بالكلية

\* (بيان تطبيق ما تقدم على ادوات السفن) \*

ثم ان استعمال الخواص التي ذكرناها في شأن المنحنى لا يخلو عن فائدة عظيمة  
وبه تظهر الجهود التي تعملها الحبال في كثير من الصور المهمة والمراد  
بادوات السفن مجموع الحبال المستعملة في اسناد صواري السفينة وقرباتها  
وفي تمريرها

فصواري شد و هف و غش الراسية (شكل ١٥)  
ممسكة من جرهما الاسفل بعقد من الشواحي ويميزها الاعلى عقدة جارية  
مصنوعة من حبل عظيم يسمى عندهم بالميدة او الجاغوص وهو الذي يستند  
عليه الصاري وهذه العقدة تنزل من المؤخر الى المقدم وتثبت في نقطة من  
السفينة ومقارفع المؤخر وانخفض المقدم عند الاضطراب والتمزق فان الميدة  
تكون مقاومة وتمنع الصاري من الكسر عند سقوطه الى جهة الخلف  
وتستعمل الميدة زيادتها في ذلك لتعادل ما ينشأ عن الحلية او الاطراف من  
الجهودات العظيمة والحلية او الاطراف هي حبال مثبتة من منتصفها  
ومربوطة فيه بحيث يتحدث عنها نخعة عريضة تمر بها رأس الصاري فيمكن  
من طرفي كل حبل حليتان او طرفان يكونان ثابتين على جانب واحد فلما تراهم  
يضعون بالعقاب للصاري الواحد حليتين في جانب السفينة الايمن واخرين  
في الجانب الآخر

وتكون الاطراف شاذة معارأس الصاري عند الهبوط من منتصف السفينة الى جانبيها ومن الامام الى الخلف

فاذا كانت الميدات والاطراف مائلة بحيث لا يحدث عنها خطوط مستقيمة مهما كان الشد الحاصل لها فانه يحدث عنها انحناءات والمنحنيات الحادثة عن الاطراف لها انحناء ظاهر قليلا لان هذه الجبال تقرب من الاتجاه الراسي قريبا كافي باختلاف المنحنيات الحادثة عن الميدات والجوانع يصعب البعده كثيرا عن الاتجاه الراسي المذكور فان انحناءها يكون ظاهرا بالكلية ثم ان المنحنى الحادث عن الميدة او الخلية يتغير انحناءه في كل دفعة جديدة تعرض له من الريح والامواج

فاذا دفع الهواء السفينة من الخلف الى الامام قصص انحناء المنحنى الحادث عن الاطراف لاجل ازدياد انحناء المنحنى الحادث عن الميدات واذا هبت الريح من جهة قصص انحناء المنحنيات الحادثة عن الاطراف الموجودة في هذه الجهة لاجل ازدياد انحناء المنحنيات الحادثة عن الاطراف الموجودة في الجهة التي تقابلها

وقد يكون اعتبار الاطوال التي قبلها المنحنيات الحادثة عن الاطراف والميدات اما بمقتضى المادة التي تتركب منها هذه الجبال او بمقتضى جنس المنحنيات الحادثة منها مما يحتاج في ادوات السفن وفن الملاحة ويمكن أن نستعمل عوضا عن الجبال المتصلة السمك في جميع طولها الجبال التي يتقص سمكها من الجهة السفلى بحيث لا يكون لها في قسطها المنخفضة الا القوة اللازمة تقاومة الشد الاصطناعي الذي يحدث في هذا الجزء لكل طرف من الاطراف

وبعسر في هذه الصورة الاخيرة صناعة الجبال الا انه يترتب عليها وفر عظيم وبها تصير ادوات السفن خفيفة جدا وهناك ايضا كثير من التصنيات ليس هذا محلها لاننا ذكرناه يكتفي في بيان الكيفية التي بها يتيسر في كل وقت حساب شد الجبال واتجاهها الاتم

\*(بيان القناطر المعلقة)\*

ولتوضح الآن كيفية عمل هذا القناطر وتوازنها نقول  
لتفرض أن حبلا أو سلسلة يمتد بين نقطتي  $A$  و  $B$  وأن حبلا أو سلاسل  
أخرى رأسية يقال لها حفاظية مثل  $MM'$  و  $DD'$  و  $CC'$  الخ  
تربط في هذا الحبل من نقط مختلفة منه على بعد واحد من بعضها ويوضع  
حبلان متساويان مثل حبل  $AM$  و  $BC$  .....  $B$  بجانب بعضهما  
ويكونان على ارتفاع واحد ويوصل بعوارض اقضية أطراف تلك الحبال  
الحفاظية الموضوعة بجناء بعضهما ثم يوضع على هذه العوارض المتوازية سقف  
فيكون ذلك هو القنطرة المعلقة

ولاجل تعيين شروط توازن القنطرة المذكورة يلزم أن نعتبر أن كل حبل  
مثل  $AM$  و  $BC$  .....  $B$  يحمل جزءاً من القنطرة مثله واحد في خلال  
الحبال الحفاظية بخلاف قتل تلك الحبال فإنه يزداد كلما قربنا من طرفي  
الحبل

وحيث أن قتل الحبال الحفاظية قليل بالنسبة لثقل القنطرة الكلي فلا نزاع  
أن الحبل الثقيل يحمل اتصالاً متساوية في مسافات اقضية متساوية وحيث أن  
يكون النخعي الحادث من الحبل المذكور قطعاً مكافئاً وقد برهن على ذلك  
في كتب أخرى

وعلى ذلك فيمكن أن نحصل في أسرع وقت وضع مر ك مثل حبل  $AM$  و  $B$   
وقطعة  $P$  التي يتقاطع فيها مماس ذلك الحبل لأنه في القطع المكافئ الذي

$$س م = س م = م ط$$

فأذا رسمنا متوازي أضلاع مثل  $ط ام$  - على  $اط$  و  $ب ط$  اللذين هما  
مماسا لسلسلة التعليق المعتبرة - كقطع مكافئ - حدث عن ذلك أن نسبة  
قتل السلسلة إلى الشدة الحامل لها في قطعة  $ط$  تكون كنسبة  $م ط$

الى ا ط فاذا مددنا ا - موازيا الى ا ب حدث هنا النسب وهو  
 م ط : ا ط :: ٢ ط : ا ط :: ٤ م : م : ا ط :: ٨ م : م : ا ط  
 وبالجمله فمى كان مهم م صغيرا بالنسبة لطول ا ب يمكن  
 أن نعتبر أن ٢ ا ط و ا ب متساويان فاذن تكون في هذه الحالة نسبة  
 مثل السلسلة الى الشد الحاصل لها في نقطة ا م كنسبة مهم السلسلة  
 ثمانى مررات الى بعد ا ب الحاصلين ا و ب اللتين هما تقطعا  
 الارتمكاز

و يقبى لنا أن تبه على أن هذا المقدار ليس الا تقريبا ومضى تعذر اختلاط  
 طول ا ط و ا ب ببعضهما بدون خطاين لزم اخذ نسبة ا ط  
 : ٤ م : م عوضا عن ا ب : ٨ م

ويسهل علينا حساب قوة الحبال المخاطية الرأسية بتقسيم مثل سطح القنطرة  
 على عدد تلك الحبال ويلزم أن يكون سم الحبال المذكورة مناسبة لعدد  
 الكيلوغرامات الذى يوجد في خارج هذه القسمة  
 ثم ان القناطر المعلقة الكبيرة المشيدة لعبور الانهر العظيمة يصنعها مهندسا  
 القناطر والجسور او كبار المتعهدين واما القناطر الصغيرة الوفيرة ( اى القليلة  
 المصاريف ) المعدة لعبور الامطار والسيول والبحارى الصغيرة ومضى الناس  
 وسير الخالات الصغيرة ونحو ذلك والمستعملة ايضا واصله بين عمارى معمل كبير  
 واحد فانه تصنع بدون صعوبة ولا بد منها في سائر فروع الصناعة

ويستعمل في هذه القناطر غالبا سلك من حديد بدلا عن السلاسل وتكون  
 هذه السلاسل بمجموعة على صورة حزمة يحيط بها سلك على هيئة بريمة حلزونية  
 كالاوراق المعدنية التى فى آلات اللويسى ( واقل قوة ترضى للسلك هو أن يعمل  
 ٤٠ كيلوغراما فى كل مليتر مربع من القطاع بدون أن يتقطع فلا يحمل  
 فى كل مليتر الا ٢٠ كيلوغراما ) وقد تكون قضبان الحديد مستعملة  
 كالحبال المخاطية فتكون العوارض الصغيرة التى عليها الواح بسيطة طولية

كافية في تمام القطرة وفي هذه العمليات وفر عظيم على ما فيها من الصلابة عند تناسب شكلها وابعادها بموجب ما ذكرناه في هذا الدرس من القواعد المتعلقة بتوازن الجبال

ثم ان المهندس سغورين دوناي وهو اول من شيد القناطر المعلقة في ملكة فرانسا بسلوك من جديد قد ابدى في هذا المعنى مثالا كثير الجدوى وهو انه صنع في معمله قطرة لعبور المشاة من الناس طولها ثمانية عشر مترا تقريبا وعرضها ستة دسجترات ولم تبلغ مصاريفها الا خمسين فرنكا والى كذا في المبادئ كثيرة القائدة قلن المطلع عليه بمنزلة رغب في عمل القناطر المعلقة الصغيرة ومن اراد التثبت بالمهم من اشغال هذا النوع فعليه بمطالعة رسالات الميرالاي دوفور التي تحليلاتها مما اشتملت عليه رحلاتنا الى جزائر ابريطانيا الكبرى وبالاطلاع على كتاب المهندس ناويس احدا أعضاء جمعية العلماء وهو كتاب جليل يشتمل على دقائق تلك الاشغال وبالوقوف على الجزء الثالث من رحلاتنا المذكورة الذي تكلمنا فيه على القوة التجارية وينافيه تخطيط القناطر الكبيرة المعلقة المصنوعة في انكلترا والقبائل الفرنسية وذكرنا فيه مستوياتها

وحيث انتهى الكلام على الجبال الواقع عليها تأثير قوى حينما اتفق وكذلك تأثير التناقل تكلم الآن على الجبال التي تطبق على سطح الاجسام الصلبة فنقول اذا كان الجبل مطبقا على سطح ومشدودا من طرفيه فانه بالضرورة يتغير وضعه بقدر ما تتحرك كل قوة الى جهة انجذابه الحقيقي وبقدر ما يأخذ ذلك الجبل من الوضع الذي يشغل فيه طولاً عظيماً على السطح ولا يمكن حصول التوازن في ذلك الا في الوضع الحقيقي الذي يشغل فيه الجبل المذكور على السطح وضع احصر خط يمكن مده بين قطعتين حينما اتفق من قطاعس الجبل بالسطح فيكون حيثئذ لخطوط القصيرة التي يمكن رسمها على السطوح ارتباط ضروري بوضع توازن الجبال المطبقة على السطوح والمشدود من اطرافها (والخاصية الهندسية لهذه الخصائص وهي الجبال المذكورة هي انه اذا رسمنا



من كل قطعة من قطعها مستويا ملاصقا لها يلزم أن يكون هذا المستوى عموديا على السطح الذي يكون المنحنى المذكور مرسوما عليه وبناء على ذلك اذا دقت عذاتا وادافى قط مختلف من المنحنى عموديا على سطح ر مع ملاحظة اتجاه المنحنى بحيث يحدث من الاشعة البصرية مستوي يمر بكل من تماس المنحنى والوتر العمودى على النقطة المعبرة  $\equiv$  كان المستوى الحادث من الاشعة البصرية المذكورة ملاصقا للمنحنى الذى يظهر انه لا انحناء له اصلا فى تلك النقطة وهذه الخاصية يمكن استعمالها على وجه تقريبي فى اقصر مضمن يمكن رسمه على السطح بالاستدانة من نقطة معلومة فى اتجاه معلوم

وانا كان الحبل منتبها على سطح وكان مؤثرا على كل من طرفيه قوة لزم أن تكون هاتان القوتان متساويتين حتى يحصل التوازن فان لم يكونا كذلك فان الحبل يتحرك فى جهة كبراهما كما انه لم يكن هنالك الا قوة واحدة مؤثرة فى تلك الجهة وهذه القوة ليست الا فاضل القوتين الاصليتين

ويكثر فى الفنون استعمال الحبال المشدودة على السطوح فاذا اراد صناع السفن أن يجعلوا السطح اضلاع السفينة و سطح حوافها انحناء تاما متواصلا فانهم يشدون على الجهة الطويلة حبالا ويجعلون لها اتجاها منتظما جدا فى جهة طول الحواف المذكورة ثم يرفعون بالتالى الاجزاء البارزة كثيرا من قطع الخشب الموجودة بين المسامير المختلفة التى يثبت بها الحبل على السطح فيكون لهذا الحبل المشدود من طريقه اتجاه وانحناء اقصر خط يمكن رسمه على سطح السفينة بين المسامير المتوالية

وهناك سطوح يمكن احاطتها احاطة تامة بحبل طرفاه منضمات الى بعضهما ومتصلان اتصالا تاما بواسطة عقد او غيرها ولا يصل هذا الحبل الى الوضع الذى يكون فيه متوازيا الا اذا كان تابعا بالضغط لاتجاه اقصر خط يمكن مده من النقطة التى يوجد فيها العقدة وذلك يكون عند الدوران حول الجسم لاجل الوصول الى العقدة المذكورة

ويوجد فى ملابس الرجال والنساء ما يشبه تلك الحبال المطبقة على السطوح

وذلك كالتوايش والاحزمة فانها اقصر خطوط يمكن رسمها على سطح الجسم مباشرة ومستورا بالملابس فاذا كان وضع الخزام من ثغافاته يكاد أن ينخفض واذا كان وضعه مخفضا فانه يكاد أن يرتفع

وهناك عدة اشياء من زينة النساء والرجال متخذة من خطوط كبيرة او صغيرة ممتدة على سطح الرأس كالسلاسل والقياطين المجدولة مع الشعر في العصابات اليونانية والرومانية وكتيحيان آسيا والقياطين المرسلّة من الاكاف الى الاوراك وسيور النعال ونحو ذلك

وينبغي أن تكون الاربطة والاساور والاطواق والاقراط شبيهة بالسلاسل الموضوعة على سطوح متنوعة او بخطوط التركيب التي تعيط بسطح السوق والاذرعة والاصابع والرقبة في الاتجاهات القصيرة من الاعضاء

وسأأتى لك عند الكلام على تمرّك البكرات أن الحبال تكون موضوعة في حلق دواليب البكرات المذكورة حسبما يقتضيه اقصر خط يمكن رسمه في هذا الحلق

ويؤخذ من جر العربات بالخيول تطبيقات مفيدة متنوعة جداً تتعلق باختلاط الخطوط القصيرة التي يمكن رسمها على سطح جسم هذه الحيوانات وليست المراتق والقشاطات والالحة وغيرها من عدد الخيول خارجة عن القاعدة المقررة في شأن توازن الحبال المطبقة على السطوح

وها هنا انتهى الكلام على الحبل من حيث تطبيقه على سطح واحد ومنه من طرفيه فقط ونفرض الآن أنه يكون مشدودا زيادة على ذلك من نقطة متوسطة فتوجد شروط التوازن في هذه النقطة اذا فرضنا ان القوتين اللتين نشدان الحبل من طرفيه تكونان متقويتين على اتجاه الحبل المذكور الى النقطة التي تكون القوة المتوسطة مؤثرة فيها ويازم أن تكون هذه القوى الثلاثة متجهة ومتناحية معا بحيث تكون متوازنة في النقطة المذكورة كالمالو كان الحبل لا ينسب لسطح تامن السطوح

ثم ان لقواعد المذكورة في شأن الاشكال الكثيرة الاضلاع الحبالية من حيث تساوى الشدود في كل نقطة متوسطة واقع عليها تأثير قوة خاصة هي عين

القواعد المطبقة على الاشكال الكثيرة الاضلاع الجبلية التي تكون فيها اجزاء  
الحبال منتقبة على سطحها ويلزم دائماً أن تكون الشدود الحاصلة في جزء من من  
الحبل اعنى على عين القوة المتوسطة وشمالها متوازنة مع هذه القوة وأن تكون  
الشدود الحاصلة في كل جزء من الحبل من قوتين متوسطتين متساوية  
ومتضادة الاتجاه

وفي عدد خيول العربات التي اسلفنا ذكرها امثلة متنوعة تتعلق بالاشكال  
الكثيرة الاضلاع الجبلية

وذلك لانه ليس الغرض من شرط قوازن القوى وتناسيبها في تلك الاشكال  
بمجرد الرغبة اذ من البديهي ان صلاحية كل جزء من هذه العدد تكون مناسبة  
لما يبذل من الجهود التي يلزم أن الجزء المذكور يتصلها وان الاجزاء  
المتنوعة من العدد المذكورة تكون مفصلة على وجه بحيث تكون  
متوازنة مع وجود تأثير التناقل وقوى الجزء والاعتبر وضع تلك العدد بالضرورة  
وصار الجردينا

وبتطبيق الهندسة والميكانيكا على تناسب عدد خيول العربات وتفصيلها  
لا سيما في الفنون الحربية يتوصل الى جعل ثقل هذه العدد في النهاية الصغرى  
وبجعل صورتها مواءمة لتطبيق قوة التحول والانتكاز والضاوية هم اول  
من عرف ذلك وعاد على خيولهم وعرباتهم النقلة بالمتعة العظيمة وقد بينى  
علينا امور كثيرة يحتاج اليها في هذا الموضوع لا سيما في عدد خيول العربات  
المعدة لثقل لوازم الزراعة والتجارة فهو غرض مهم يلزم حث الصنائعية  
وتحريضهم على الاعتناء به والالتفات اليه

فانا استعملنا عوضا عن الحبال المتعبة كالخطوط الهندسية حبالا جديدا  
معلوم ولها صورة خاصة كالتوايش والسيور ونحو ذلك فانه يلزم أن تكون  
على السطوح التي تستند هي عليها والاتعيرت عن اصلها حيث تعتبر السيور  
والتوايش كالسطوح المتفرقة المعاسة لسطح الجسم الذي هي موضوعة عليه  
وهذا ايضا ما يطبق على ما اسلفناه في الدرس العاشر من الهندسة

ثم ان كيفية تعليق الاحمال بالحبال ليسهل حملها على الناس جديرة بالاعتناء بها  
والالتفات اليها بخصوصها فمن ذلك كيفية سهلة مناسبة وهي ربط قائنين  
في ظهر جربدية العساكر او دلوى سقاي الافرنج وجعلهما مارتين من  
تحت الابط وفوق الكتف ولا يمكن توازنهما الا اذا كان لهما اتجاه اقصر خط  
يمكن مده من تقطعي الارتباط ويكون مارتان تحت الابط وفوق الكتف  
ايضا وهذا هو السبب في كونهم يجيرون في الغالب على اسماكهما بجعل  
افقي مارت بالصدر وواصل من احدهما الى الآخر وبذلك يسهل تعيين الشد  
الحاصل للصلب المذكور والزوايا الحادثة منه ومن القائنين في نقطة وقوعه  
وهناك كيفية اخرى تتعلق بالقائش وهي كيفية السقاء حيث يضع القائش  
على كتفيه وينزله بقدر طول ذراعيه الى ارتفاع يديه الذي ينتهي فيه القائش  
من كل من طرفيه بحمالة تملك بأذن الدلو ولا جل منع الدلوين عن القرب  
من ساق السقاء بواسطة قطنهما يفرق بينهما بطارة فيسهل حيثئذ فصل  
الشد الحاصل للقائش ويلزم أن يكون متوازنا أولا مع ثقل كل دلو وثانيا  
مع قوة الحصر الحادثة من الطارة التي نعدم بها الجهد الحاصل من الدلوين  
لاجل اقترابهما من بعضهما

وفن ربط انواع الازم بخيوط الدبار تمبنى على خواص توازن الحبال الممدودة  
على السطوح ومعرفة ذلك سهلة كعرفة تطبيق الحبال وربما سرت التلامذة  
من مباشرة اجراء ذلك بانفسهم ومن تحققهم في عمليات الصناعة من تصور  
التطبيقات

ومن الفنون المستظرفة التي تطبقا تمام متنوعة وعملياتها بدعة فمن رسم  
مخضيات على سطح الجسم الانساني وعلى سطح الملابس تكون اقصر خطوط  
يمكن رسمها على هذين السطحين ويتحقق هذا الوصف فيها يكون لها ارتباط  
باسباب التغير والسهولة والانتظام والظرافة  
وقد سبق انه يكون للعارزون خاصية هندسية وهي انه يكون اقصر خط  
يمكن رسمه على اسطوانة بين اى نقطتين من هذا الخط وبناء على ذلك يمكن  
أن نقي حبالا حلزونية على سطح اسطوانى ثم نشد هذه الحبال من اطرافها

مع تمام انجباها كما يدون أن يتغير شيء من الانحناء الحاصل منها حول الاسطوانة

وقد عرفت عملية عظيمة جدا من هذه الخاصية الهندسية في الآلات التي يلزم فيها انثناء الجبال على السطوح كما في عملية انثناء الجبل على الآلة المعروفة بالمصنق الآتي ذكرها في الدرس العاشر ومن هذا القبيل اوتار الكمجة والعود والتأون فهي حادثة من وتر مركب يتنوع حوله على صورة حلزون سلكا معدنيا فيكون شد هذا السلك واحدا في جميع قططوله متى كان بهذه الصورة الحلزونية وبناء على ذلك يكون الاهتزاز الحاصل عند تحريك الآلة واحدا في جميع اجزاء الوتر وهذا ناشئ عن خواص الانحناء الحلزوني

والشبكات متكونة من الخيوط المرتبطة مع بعضها بنقط على نسق واحد وهناك شبكات الغرض من صنعها أن تطبق على السطوح انطباقا صحيحا كالشبكة التي تغطي بها القباب الطيارة وتنتهي بحيط المركب التي تثقلها تلك القباب ويختص القواعد المذكورة في هذا الدرس بيسهل حساب الشد الحاصل لكل خيط من الشبكة

وفي ذينة النساء غالبا شبكات معتدة لتغطية بعض اجزاء من سطح شعورهن وملابسهن كالنسيج الذي يكون في العصاية وهو المعروف بغطاء اللباس والشبيكات واصطناع ذلك على صورة الشبكات يجعله ملائما لانثناء الاجسام البشرية وانحنائها اتم الملايعة

### \*( الدرس السابع )\*

في بيان ما يتق من الجبال وفي التحركات المستديرة للجبال والقضبان والجالات والليارات وفي مقادير الانحراف وفي البندولات

لتفرض ان قوة  $S$  تكون واقعة عموديا على نقطة  $A$  التي هي احد طرفي جبل  $AB$  غير القابل للعد والمحرز من التناقل فيكون طرفه الآخر وهو  $B$  مربوطا في نقطة ثابتة  
وانا كانت قوة  $S$  المذكورة مؤثرة زمنا ما بدون معارض فانها تسير

نقطة  $\bar{A}$  المادية الى الامام تسميا مستقيما وتبعدها كثيرا عن نقطة  $\bar{B}$  الثابتة غير أن الجبل المستعمل لذلك يمنع النقطة المادية المذكورة أن تكون بعيدة عن نقطة  $\bar{B}$  اكثر من البعد الاول وهو  $\bar{B}\bar{A}$  فاذن يجذب هذا الجبل النقطة المادية ليصلها على بعد ثابت من النقطة المعينة بواسطة هذه المقاومة فتجذب بقوة  $\bar{AS}$  الجبل الذي هو مشدود دائما بسبب تأثير هاتين القوتين فاذن ترسم نقطة  $\bar{A}$  التي هي طرف هذا الجبل دائرة فيرى في ذلك ثلاث قوى متباينة احدها قوة  $\bar{S}$  العمودية على نصف

قطر  $\bar{A}$  والموجهة على  $\bar{AS}$  الذي هو عماس الدائرة المقطوعة بنقطة  $\bar{A}$  المادية وهذه القوة هي المعروفة بالقوة المماسية والثانية القوة الجاذبة للجبل جهة المركز وهي المعروفة بالقوة المركزية والثالثة القوة التي تجذبه لتبعد نقطة  $\bar{A}$  عن المركز وهي المعروفة بالقوة المبعدة عن المركز وهي مساوية للقوة المركزية ومضادة لها ولندكر النسبة الحاصلة بين القوتين الاخيرتين والقوة الاولى فنقول

لترسم شكلا متوازي الاضلاع مثل  $\bar{ANM}$  على ضلعي  $\bar{AN}$  و  $\bar{AM}$  المتساويين فيكون قطره وهو  $\bar{AM}$  دالا على ما يازم يذله من الجهد لاستبدال اتجاه  $\bar{AM}$  باتجاه  $\bar{AN}$  وانتقال الجسم من  $\bar{A}$  الى  $\bar{N}$  وهذا الجهد المئين بضد  $\bar{AM}$  هو القوة المركزية

فاذا مددنا نصف قطر  $\bar{SN}$  كان مثلثا  $\bar{ASN}$  و  $\bar{ANM}$  متشابهين لانهما متماثلان وفيهما زاوية مشتركة وهي  $\bar{A}$  فاذن يحدث هذا التناسب وهو

$$\bar{SN} : \bar{AN} :: \bar{AN} : \bar{AM} = \frac{\bar{AN}}{\bar{SN}}$$

يعني ان  $\bar{AM}$  الدال على كل من القوة المركزية والقوة المبعدة عن المركز يكون مساويا لمربع القوة المماسية مقسوما على نصف القطر

وبمثل هذه البرهنة يعلم اننا اذا اخذنا  $ان = نَن = نَن$  الخ  
واوقعنا على  $شَن$  و  $شَن$  و  $شَن$  الخ قوة مركزية جديدة  
مساوية دائما  $ام$  قطع الجسم في ازمنة متساوية مسافات  $ان$   
و  $نَن$  و  $نَن$  الخ فاذن يكون الجسم المذكور بسرعة عماسة  
ملازمة له ويحصل له في كل وقت من القوة المركزية دفعة جديدة ثابتة متى قطع  
دائرة معلومة وهذا هو المعروف بالترك المستدير المنتظم  
وفي هذا الترك تكون السرعة العماسة مساوية للقوس المقطوع مقسوما  
على الزمن المعد لقطعه

واذا قسم القوس بنصف القطر حدث من ذلك قياس الزاوية وحيث ان تكون  
الزاوية المتقابلة للقوس المقطوع مساوية للسرعة العماسة مقسومة على  
نصف قطر هذا القوس ومضروبة في الزمن المعد لقطعه ويحدث من هذه الزاوية  
المقسومة على الزمن قياس ما هو معروف بالسرعة المتزوية للجسم الدائر  
حول المركز فاذن  $ككون$  أولا السرعة المتزوية مع السرعة العماسة  
على نسبة منعكسة من نصف القطر وثانيا تكون كلتا السرعتين العماسة  
والمتزوية مناسبتين لنصف القطر  
ففي تغايرت انصاف الاقطار كان الزمن المعد لقطع الدائرة تمامها على نسبة  
منعكسة من السرعة المتزوية فيكون الزمن المعد لقطع الدائرة تمامها مناسبا  
لنصف القطر مقسوما على السرعة العماسة

وهذه النتائج موجهة في كثير من مسائل الميكانيكا المهمة في الصناعة  
ولا تغفل انه اذا كان الجسم الدائر حول المركز مربوطا بخيط او حبل او قضيب  
كانت القوة المركزية هي الشد الواقع على الخيط او الحبل او القضيب من جهة  
المركز وكانت القوة البعيدة عن المركز هي الشد المتقابل للمتقدم والواقع  
على الخيط ليبعده عن المركز

وراكب الترس الذي يدورها في الميدان يكون في مركز الدائرة ويكون

فأبضا يده على طرف عنان القوس فتكون القوة المماسية هنا هي قوة القوس  
التي يميل دائما إلى الاخلات من المماس غير أن الراكب المذكور يشد العنان  
بقوة مركزية مساوية للقوة التي يشد بها القوس عنانه بمعنى أنها تكون مساوية  
للقوة المبعدة عن المركز المنسوبة للقوس ومعنى كانت سرعة القوس مضاعفة  
منه كانت القوة المركزية مضاعفة رباع وإذا كانت السرعة مضاعفة ثلاث  
كانت القوة المذكورة مضاعفة تسع مرات وهكذا وما ذكرناه في هذا المعنى  
مع ما يتعلق به من النسب يلازم فتحرا لالمخلع الذي سنذكره قريبا

ثم إن القوس الذي يدور في دائرة يتبدون موانع يمنعه من الدوران لا يمكنه الاستقامة  
والاعتدال فيها لأن القوة المبعدة عن المركز التي تقوى دائما اجزاء جسمه  
تدفعه دفعا اقويا إلى خارج تلك الدائرة بل تكاد توقعه فلاجل مقاومة  
تاثيرها يميل القوس بأعلى جسمه إلى جهة مركز الدائرة التي يقطعها ويلزم  
أن يكون هذا الميل متزايدا بقدر مربع سرعته ويعظم ميله متى أسرع  
في العدو والجري \* ولاجل أن يمكنه السير بدون صعوبة عند ميله إلى جهة  
مركز الدائرة يميل به الراكب دفعة واحدة إلى الطريق المستدير الذي يلزم  
قطعه (شكل ٢)

وإذا كان الفارس قائما على فرسه مع الاعتدال والاستقامة فإنه يجبر على الميل  
بأعلى جسمه إلى جهة مركز الميدان لتلاي سبط بتأثير القوة المبعدة عن المركز  
وبدل شكل ٢ على ما بين قوة التناقل والقوة المبعدة عن المركز من التركيب  
ليحصل التوازن بين القوس والراكب

وإذا سارت العربية ورجعت في سيرها قوس دائرة أو سارت سيرا مستديرا  
لحقها تأثير القوة المبعدة عن المركز التي تكاد تغلبها فإذا دارت في طريق  
المصدر إلى جهة مركز الدوران وهو  $\overline{و}$  حدث في هذا الوضع عن القوة  
المبعدة عن المركز وقوة التناقل ما يحدث عن القوس (شكل ٢) عند دورانه  
في طريق  $\overline{أ ب}$  و  $\overline{ه د}$  حول محور  $\overline{و}$



ومنى كان طريق  $\overline{سم}$  احتيا فلا شئ يقص ميل القوة المبعدة عن المركز  
حتى تنقلب العربية  
فإذا كان طريق  $\overline{ن}$  مخطئا بعيدا عن مركز الدوران فإن هذا الانحدار  
ينضم تأثيره الغير الموافق الى تأثير القوة المبعدة عن المركز فينشأ عن ذلك خطر  
عظيم في الانقلاب

وفي طرق  $\overline{فرانسأ}$  ضرر عظيم وذلك انها محدبة من منتصفها بحيث  
يظهر منها الانحداران عظيمان جذا في جهتين متقابلتين فاذا تقابل عربتان  
في بعض الانعطافات فإن العربية للتوجه الى الانحدار الذى يكون نحو مركز  
الدوران تكون متقوية بهذا الانحدار واما المتوجهة الى الانحدار الخارج  
فانها لا تكون متقوية بهذا الانحدار بل ربما كانت عرضة للانقلاب

وعما ينبغى نظمه في سلك القواعد المطردة التى يجب العمل بها هو انه في جميع  
الانعطافات لا يلزم حمل انحدار خارج مطلقا وانما يلزم حمل المنحدار الى جهة  
مركز الدوران بقدر الامكان

فاذا كانت القوة المبعدة عن المركز على نسبة منعكسة من قطر القوس  
المقطوع فانه ينتج من ذلك انها تكون صغيرة متى كان القطر كبيرا وتكون  
متزايدة متى كان القطر متناقصا واذا كان في الانعطافات القصيرة جذا  
ما ليس لقوسه الا قطر صغير جذا كانت القوة المبعدة عن المركز صغيرة  
وبذلك يكون الانقلاب شديد الخطر

وقصارى الامر أن هذا الخطر يتزايد بقدر مربع سرعة العربات  
وهذا هو الحامل لمهرق العرجية والحياة على كونهم لا يسوقون خيولهم  
سوا حثيثا في الانعطافات القصيرة بل يمشون على مهل متى ارادوا الدوران  
ولتنبه هنا على ان الميكانيكا يعرف بها مع الضبط والسهولة جميع تأثيرات  
التحرك المستدير في الصور المهمة المتعلقة بالامن والاطمئنان في النقل  
والاسفار ويعرف بها ايضا قواعد عمل العربات التى تصنع بموجب  
قوانين التحرك

فإذا كانت المجلة (شكل ٣) سرعته الحركة في الرمل أو الطين فانها ترفع معها شيئا من ذلك تكون سرعته المماسية عين سرعتها وحيث ان ما ترفعه لا يثبت على القضبان ولا على تصاليب المجلة بقوة تساوى القوة المبعدة عن المركز لزم أن يقع عليه تأثير هذه القوة وأن يكون مدفوعا بالسرعة التي اكتسبها ويوضع امام عجلات العربات الزينة لوح معدني عريض مستدير مثل س يعرف بالمائع لانه يمنع جميع قطع الطين الصغيرة المدفوعة بتأثير القوة المماسية

وإذا لم تكن تصاليب العجلات متلامسة بمسامير غائصة الى انصافها في اطراف تلك التصاليب المتحاسة وقضبان من الحديد سائرة لهذه التصاليب فان القوة المبعدة عن المركز تكاد دائما أن تبعد التصاليب المذكورة عن المركز وتخلعها من المسامير الرفيعة وتحدفها كالرمل والطين اذا عظمت سرعة العجلات ومتى كانت المسامير المثبتة للقضبان على التصاليب داخلية قليلا في الخشب فان القوة المبعدة عن المركز تخلعها وتحدفها في اتجاه المسامير الرفيعة المقتدة وبالجملة فيقيم مجموع التصاليب والقضبان والمسامير المثبتة لها على التصاليب قواعد تعلم من نسبة القوة المماسية والقوة المبعدة عن المركز وكذلك كثير من العجلات المستعملة في الآلات كإسباتي

وإذا ضرب الصانع بالبلطة أو المطرقة ضربا قويا فان حركة الآلة في حالة الضرب تكون على شكل قوس دائرة بخلاف ما إذا كان الضرب ضعيفا فانها تمحيد عن محاس القوس الذي تقطعه فلذا كان الدويران مستديرا وكان ضرب الدبوس والبلطة والبالطة ونحو ذلك بهذه الكيفية ومن ههنا التنبيل ايضا القلاع

وذلك ان القلاع كان قبل اختراع اسلحة النار من آلات الرمي المهمة ثم صار الآن لعبة في ايدي الصبيان وكيفية الرمي به أن يوثق بجبل خفيف بحبل أشب (شكل ٤) يكون في منتصفه كفة ككفة شاي يوضع فيها حجر ثم يضم طرفاه وهما أ و ب الى بعضهما ويقبض الانسان عليهما

يد واحدة ثم يحركه فتحرك دوران فاذا استعمل في تحريكه قوة ثابتة فان  
المقلاع يدور بسرعة ثابتة ويكون حبله مشدودا دائما فيحدث عنه في اليد  
جهد يدل على القوة المركزية اللازمة لامتساك حجر  $\theta$  دائما على بعد  
واحد من مركز  $A$  ومتى ارتخى احد طرفي الحبل فان هذه القوة المركزية  
لا تضاد القوة البعده عن المركز وكذلك الحجر لا يتحرك فتحر كاستنديرا  
بل تدفعه القوة المماسية بدون مانع فيقطع في سيرة خطا مستقيما اذا حذف  
رأسيا

وقد قطعنا النظر في جميع ما ذكرناه عن تأثير التناقل على جسم بجسم  $A$   
لانه اذا لم قطع النظر عن هذا التأثير كان حل المسئلة صعبا جدا  
واذا اقتضى الحال اننا لجسم يدور في دائرة بحموفة فانه يتحرك على محيط  
هذه الدائرة بالقوة الثابتة التي تصير بهذا التحرك قوة مماسة وبها تعين  
سرعة سيره وهذه القوة المماسية الدافعة للجسم حتى يخرج عن المماس  
تعرض لها دائما مقاومة على محيط الدائرة المحموفة وهذه المقاومة العمودية  
على المحيط المتجهة بذلك الى جهة المركز هي القوة المركزية للساوية والمضادة  
مباشرة للقوة البعده عن المركز

وقد يستعمل في فن الطوبجية براميل دائرة على محورها ومحتوية على  
الرصاص المراد صقله فيلزم أن تكون صلابة هذه البراميل مناسبة أولا  
لجسم الرصاص المطلوب فيها وثانيا لما للرصاص من القوة البعده عن  
المركز المناسبة لمربع القوة المماسية المستعملة لتدوير الرصاص في البرميل  
وينبغي أن يضاف الى ذلك كثير من الطنابير والدوائر المحتوية على الرصاص  
المصقول او الاكر الصغيرة المتخذة من النحاس للموضوع في البارود المراد  
تحميمه وانما اقتصرنا على التحرك المستدير للجسم المجهور على أن يتحرك تحركا  
منضيا لان الحبل او القضيب او المحيط الجسم يجبر الجسم على اتباع هذا الخط  
بواسطة تأثير متجه دائما الى جهة مركز التحرك  
وهناك امثلة عظيمة تتعلق بالاجسام المتحركة تحركا مضميا بدون

أن تكون بمسكة برابط من الروابط المتوسطة او المحيطات الخارجة من ذلك القمر فانه يتحرك في الفراغ حول الارض بدون عائق وكذلك الارض حول الشمس (شكل ٥)

ويوجد في هذه التحركات من مبدء الامر قوة ط المماسية التي تدفع دائما القمر والكواكب السيارة دفعا مستقيما ثم ان الارض بالنسبة للقمر نقطة بورية لقوة ث الثركزية المؤثرة دائما في القوة البعده عن المركز للقمر وكذلك الشمس بالنسبة للارض فانها نقطة بورية للقوة المركزية المؤثرة دائما في القوة البعده عن المركز للارض

فاذا توازنت القوة المركزية والقوة المماسية وكسا على نسبة موازنة للتحرك المستدير فان القمر يرم في سيرة دائرة حول الارض وكذلك الارض ترسم في سيرها دائرة حول الشمس غير ان هناك اوضاعا تكون فيها القوة المماسية ضعيفة فيكون القمر حينئذ متباعدنا عن الارض والارض متباعدة عن الشمس وعند تباعدهما يكون انجباهما المبعده عن المركز ماثلا بالنسبة للانجباء المركزي وبناء على ذلك تكون القوة المركزية مضادة للقوة البعده عن المركز وتقصها بحيث يزول امر القوة الاخيرة وهي المبعده عن المركز الى كونها حقوقا قليلا للقوة الاولى وهي المركزية فيقرب الكوكب المتحرك حيثئذ من مركز تحركه وهذا هو سبب كون القمر يرم حول الارض والارض ترسم حول الشمس مخصيا ممتدا وهو قطع ناقص وتكون الارض نقطة بورية للقطع الناقص الذي يتبعه القمر والشمس نقطة بورية للقطع الناقص الذي يتبعه الارض

والقوة المركزية للارض بالنسبة للقمر هي القوة التي تسمى بقوة التناقل والتجاذب كما سبق وهي القوة التي تهيئ بها الكوكب المرمية من اسفل الى اعلى وتجبرها على رسم منحنى كمنحنى ا ب ث (شكل ٦) اذا ربيت رميا ماثلا فاذا كانت قوة التناقل ثابتة ولم يحصل من الهواء مقاومة لتحرك الاجسام المرمية فيه فان الجرا واللكلة او الطيارة

او نحو ذلك يرسم من اول دفعة تحصل له من القوة الاصلية قطعاً مكافئاً  
مثل أ ب ت

ومقاومة الهواء الحقيقية تنقص بها المسافة المحاطة بالمنحنى وتسليح بها

المسافة الثانية من القطع المكافئ الوهمي ويحدث عنها منحنى ا ه ف  
والغرض المهم من تجاريب فن الطوبجية هو انه بحسب مجسمات وبجسم  
الكلل والجبب والرماس ونحو ذلك وكذلك بحسب القوة التي ترى بها  
تلك الاشياء واتجاه الدفعة الاصلية تعين النقط التي يمكن وصول المرمى  
اليها على ارتفاعات متنوعة وابعد مختلفة ولا نذكر هنا من علم  
الميكانيكا الا التطبيقات العظيمة التي تحدث عنها القضايا النظرية التي تخص  
فن الطوبجية

وقد ثبت الا ان عند الافرنج ان الارض غير ساكنة ولا موضوعة كنقطة  
ثابتة في مركز العالم بل تدور بسرعة على نفسها بحيث تكمل دورتها  
في ظرف اربع وعشرين ساعة وهي مدة الليل والنهار وعليه فيدور ان هذه  
الكرة فينتقل سكانها القاطنون على خط الاستواء من المغرب الى المشرق  
مع سرعة اكبر من سرعة الماشي مشياً معتاداً اربعمائة مرة

فاذن تكون كل قطعة من قط الارض مدفوعة بقوة مماثلة تكاد تشعلها  
بعيداً عن الكرة المذكورة وبهذه ك ز ه كاد تجذبها نحو المركز وهذه القوة  
المركزية هي المسماة بجذب الارض وحيث ان تأثير القوة المماسية واحد تقريباً  
في سائر الاجسام الموضوعة بجوار بعضها فان هذه الاجسام المتمركزة بتأثير  
تلك القوة تكون على حالة بحيث تكاد ان تكون ساكنة

وليكن (شكل ٧) مسقط الارض موازياً لخط الاستواء بحيث يكون  
خط الاستواء والموازيات كلها دوائر متقابلين ب ه تقطع ه و ا  
الموضوعتين احدهما على خط الاستواء وهو ه ه ه والاخرى على موازٍ  
ليساكن ب ك و ا وتعد نصف قطر ه ه من قمر ب اجتمع من قطر ه ه

فأنازلنا بمعدى  $\overline{مه}$  و  $\overline{س ص}$  على  $\overline{هوه}$  كان نصف القطر  
وهما  $\overline{وا}$  و  $\overline{وه}$  مناسبين بداية نطقي  $\overline{هس}$  و  $\overline{اسه}$  الدالين على  
القوتين المبعدين عن المركز التسويتين لنقطتي  $\overline{ه}$  و  $\overline{ا}$  المادتين  
فأذن تكون القوة المبعدة عن المركز الواقعة على كل نقطة مناسبة لبعدها محور  
عن هذه النقطة وهذا في حالة تحرك الأرض حول محورها

وعلى ذلك تكون القوة المبعدة عن المركز كبيرة مهما أمكن في نقطتي  $\overline{ه}$  و  $\overline{ا}$   
الموضوعتين على خط الاستواء وبهذه القوة نعدم جز من تناقل الأجسام  
ثم إن تناقل الأجسام في خط الاستواء يكون صغيرا عما إذا كان  
في نقطة تامن نقط الأرض وسيأتي قريبا كيفية تحقيق ذلك بالتجربة

ولنفرض أن برج  $\overline{هف}$  يكون مبنيًا في نقطة  $\overline{ه}$  فأذا رسمنا من نقطة  $\overline{و}$

التي هي المركز قوس  $\overline{فص}$  ومددنا  $\overline{ص س}$  عمودا على  $\overline{وف}$

حدث هذا التناسب وهو  $\overline{وه} : \overline{وف} :: \overline{هص} : \overline{فص}$   
وهذه هي نسبة القوى المماسية

فإذا افترضنا من  $\overline{ف}$  التي هي رأس البرج جسما ما فإن هذا الجسم يصل

إلى أسفل البرج حين يكون الرأس في نقطة  $\overline{ص}$  ويكون مدفوعا بالقوة

المماسية التي تحببه على قطع  $\overline{فص}$  فأذن يلزم أن هذا الجسم حين يكون

أسفل البرج في نقطة  $\overline{ص}$  لا يقع في هذه النقطة قط بل يقع أيضا في نقطة  $\overline{ز}$

على بعد  $\overline{هز} = \overline{فص}$  ولنوضح ذلك بالأرقام فنقول

إن نصف قطر الأرض في خط الاستواء يساوي ٦٣٧٦٤٦٦ مترا

ولنفرض أنه في إحدى المدن التي على خط الاستواء بنى برج ارتفاعه مائة متر

والمطلوب معرفة فاضل سرعة التقطتين الماديتين الموضوعتين أحدهما

في أسفل البرج والاخرى في رأسه فيكون نصف قطر المحيط المقطوع باحدى  
النقطتين ٦٣٧٦٤٦٦ مترا والمقطوع بالاخرى ٦٣٧٦٥٦٦ مترا  
والنسبة المتعكسة لهذين العددين هي نسبة السرعة المتكررة ومما يسهل  
مشاهدته ان النقطة العليا تقطع في يوم واحد زيادة عن النقطة السفلى مائة متر  
مضروبة في النسبة الحاصلة بين المحيط ونصف القطر ويحدث من ذلك  
٦٤٨ مترا وكسور فاذا كان هناك جسم ثقيل وخلى لنقطته الاصل في محل خال  
عن الهواء فانه يهبط مائة متر في خمس فوان بالابتداء من احدى نقط محيط  
خط الاستواء وذلك يساوي  $\frac{17280}{36}$  جزأ من اليوم فاذا قسم ٦٤٨ مترا

على ١٧٢٨٠ تحصل معنا الكمية التي يقرب بها اعلى البرج من جهة  
المشرق اكثر من قرب اسفله اليها مائة مقوط هذا الجسم وسيأتى ان الجسم  
الثقيل لا يقع في أسفل البرج على مستقيم رأسي بل يقول الى شرفه يعتقد انه  
 $\frac{17280}{17280} = 36$  مليون اقترابا  
وحيث ان مقاومة الهواء تبطل سقوط الاجسام لزم لسقوطها من ١٠٠ متر  
اكثر من خمس فوان فعلى ذلك يقول الجسم الثقيل عند سقوطه من اعلى البرج  
الى جهة شرفي اسفله بعدا اكثر من ٣٦ مليون وقد دلت التجربة على ذلك  
ومتى دار جسم حلب حول محور احدثت جميع نقطه في زمن واحد ودورة  
كاملة وكانت سرعتها المتكررة مناسبة للمحيطات وبذلك تكون ايضا مناسبة  
لانصاف اقطار الدوائر التي تقطعها هذا النقطة

وفي دائرتين مختلفتين يكون مركزهما في مركز التحرك ويكونان حاملتين  
مع الانظام اجزاء مادية تكون كمية هذه الاجزاء مناسبة لنصف القطر  
فان يكون فيهما كمية التحرك (اعني حاصل ضرب الجسم في السرعة)  
مناسبة لنصف القطر مضروبا في نصف القطر اعني لمربع نصف القطر  
وينتج من ذلك في الالات التي يستعملون فيها العجلات المحورة على  
تضيقين مستديرين عرضهما واحد كقضبي ا ب س و ا ر ت

(شكل ٨) ان كمية التحرك التي يادفع القضبان المذكوران عندما يتمان دورانهما في زمن واحد تكون مناسبة لمربع نصف قطر الجملات المذكورة فاذا كانت عججات الجملات متساوية كان تدوير الكبيرة اصعب من الصغيرة مثلا اذا كان  $\overline{ا ب ث}$  اكبر من  $\overline{ا ر ث}$  ثلاث مرات واقل منه ايضا ثلاث مرات ففي اريد تدوير  $\overline{ا ب ث}$  دورة كاملة في الزمن الذي يراد فيه تدوير  $\overline{ا ر ث}$  لزم لذلك ضرب ثلاث مرات في تسع اى تسع مرات بقدر كمية التحرك فاذا جعلنا  $\overline{ا ر ث}$  اقل من الاول بثلاث مرات بدون أن يكون كبيرا فانه يمكن أن نصف هذه الكمية ثلاثا لتبقى السرعة على حالها فتكون الكمية المذكورة اصغر من الكمية التي تدفع  $\overline{ا ب ث}$  لان هذه القوة اكبر منها تسع مرات

وبناء على ذلك اذا كان المطلوب حصرية عظيمة من التحرك في مجسم مادي معلوم فالاصوب تقسيم هذه المادة على محيط كبير القطر ومن المهم في كثير من الآلات حصرية عظيمة مهما المكن من التحرك في مجسم لا يؤثر بثقله على قطار ارتكاز كثيرا فبهذه الوسطة اذا عرض خلل او حدث عارض من عدم تساوى التحركات ونشأ عنه اسراع او بطئ مضر فان البهجة المدفوعة بتحرك الدوران ثابت ~~تكتسب~~ او ينعدم منها كمية من التحرك كبيرة بالكفاية من غير أن تتغير سرعتها كثيرا والذي اقول ان البهجة المذكورة تكون بمنزلة المحافظ او للتعظم الذي يؤثر غالبا بتأثيرات ناعمة ويطلق على محافظ القوى اسم الطيارات

وعوضا عن أن نجعل المحافظ على صورة قضيب متواصل مثل  $\overline{ا ب ث}$  (شكل ٨) نحصر غالبا المادة المطلوب توزيعها على قضيب  $\overline{ا ب ث}$  في ثلاث نقاط او اربعة متساوية البعد عن بعضها كنقاط  $\overline{ا ب ث}$  و  $\overline{ا ب ث}$  (شكل ٩) او  $\overline{ا ب ث}$  و  $\overline{ا ب ث}$  و  $\overline{ا ب ث}$  (شكل ١٠) وحيث يكون لهذه المادة التي على بعد متوسط من مركز الدوران كمية واحدة من التحرك بالنسبة لسرعتها الثابتة



ولنبرهن على ان نقطة  $و$  التي هي مركز دوران الطيارات تكون مركز ثقلها ايضا فنقول ان الجمله بدون ذلك تكون دائما مجذوبة من جهة اكثر من الاخرى فلا يكون محقق كهنا منتظما ولا متسقا فلا بد لحصول النفع من تحقق هذا الشرط وهو أن نأخذ مركز الطيارة ونجعلها مركز ثقلها انما الاتكال التي تضمنها تلك الطيارة فهذه هي القاعدة التي جرى بها العمل في (شكل ٩) و (شكل ١٠)

واما الدعوى النظرية التي سنذكرها فلا بد منها لصناع السفن والساعاتية وصناع الآلات غيرها في كثير من المدن يعجز العملة عن اتباعها فيجوز للمعلم أن يضرر بعضها صفحا

وهذه الدعوى هي التي يبرهن بها في الاجسام الصلبة التي تدور حول المحور  
كما تقدم في الكرة الارضية على ان القوة المبعدة عن المركز تكون مناسبة  
لبعد المحور عن كل نقطة مادية

ولذلك نفرض ان مستوى شكل ١٢ يكون محدباً على هذا المحور المين

نقطة  $\alpha$  ولنكن النقط المقتضية التساوية في الجسم هي  $\mu$  و  $\alpha$  و  $\mu$

وَمِنْ الْخِ هِيَ الَّتِي يَتَرَكَّبُ مِنْهَا جِسْمُ ابْنِ دَاوُدَ فَتَكُونُ اِبْعَادُ غَمٍّ  
وَوَغْمٍ الْخِ وَغَمٍّ وَغَمٍّ الْخِ مُنَاسِبَةٌ لِقُوَى الْمُبْعَدَةِ عَنِ الْمَرْكَزِ وَرَبْمَا كَانَتْ  
دَالَّةً عَلَيْهَا

ولنفرض أن مركز الثقل يكون على محور  $OX$  ونأخذ

وَمِنْ خَيْرِ مَنْزِلٍ وَمِنْ خَيْرِ مَنَاجِزٍ

للمجول محورا المقادير اقال م م الخ م م الخ فينصل

$$1 + 2 + 3 + \dots + n = \frac{n(n+1)}{2}$$

وثنائيا م × م + م × م + ... = م × م + م × م + م × م

اعرف انه من لدی غم غم غم غم

المبعدة عن المركز المقسومة قسما عموديا على مستقيم  $\overline{س غ ص}$   
وقسما موازيا له محصلة معدومة على اى اتجاه تقسم عليه هذه القوى  
بالتوازي لستوى الشكل وحيث لا تكون محصلة القوى المذكورة الموازية  
لهذا المستوى جاذبة للمحور والمات يمر مركز ثقل الجسم الى جهة اكفر  
من الاخرى

ولنفرض الآن ان مركز الدوران وهو  $\overline{غ}$  يكون في بعد  $\overline{غ غ}$  من مركز  
ثقل  $\overline{غ}$  على محور  $\overline{س غ ص}$  الموازي لمحور  $\overline{س غ ص}$  فتكون  
محصلة قوى  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  الخ و  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  الخ الجليدية المبعدة عن المركز  
المقسومة بالتوازي الى  $\overline{غ غ}$  هي

$\overline{م} \times \overline{م} + \overline{م} \times \overline{م} + \dots + \overline{م} \times \overline{م} - \overline{م} \times \overline{م} - \overline{م} \times \overline{م} - \dots$  الخ  
ولا تغير هذه المحصلة اذا طرحنا منها مقدار  $\overline{م} \times \overline{م} + \overline{م} \times \overline{م} + \dots + \dots$   
وكذلك لا تتغير اذا زدنا عليها مقدار  $\overline{م} \times \overline{م} + \overline{م} \times \overline{م} + \dots + \dots$   
المساوى له غير انه ينبغي التنبيه على ان  $\overline{م} - \overline{م} = \overline{م} - \overline{م}$   
 $\dots = \overline{م} - \overline{م} = \overline{م} - \overline{م} = \dots$   
فاذن يكون ما تحصل من الجمع والطرح المتروطين هو مجموع محجمات

$\overline{م} + \overline{م} + \dots + \overline{م} + \overline{م} \dots$  مضروب في  $\overline{غ غ}$   
فعلى ذلك اذا دار جسم حول محور  $\overline{س غ ص}$  الذي لا يمر اصلا بمركز ثقله  
وهو  $\overline{غ}$  فان محصلة القوى المبعدة عن المركز تتزايد بالتناسبة لبعدها عن المحور  
عن المركز وتكون باقية على حالة واحدة اذا فرضنا ان سائر اجزاء الجسم تكون  
كثيفة في مركز  $\overline{غ}$   
ثم ان تأثير القوة المبعدة عن المركز يكاد يتقل المحور عن موضعه ويجذبه دائما

الى جهة مركز الثقل وهذا ضرر ينبغي اجتنابه في اغلب آلات الدوران لاجبا  
في الآلات التي تستعمل فيها الطيارات ومن هنا القاعدة المطردة وهي انه يلزم  
أن يكون مركز ثقل الطيارة موجودا على محور الدوران  
ولنتعبر ان تأثير القوى المبعدة عن المركز يقوم بالتوازي للمحور ولنفرض  
(شكل ١٢) ان مستوى الشكل يكون مستويا للمحور

ونرمز الى هذا المحور بخط  $S$   $G$  مع جعل قطعة  $G$  مركز ثقل  
الجسم ثم قطع الجسم بمستويات عديدة مثل  $M$  و  $M'$  و  $M''$  الخ  
عمودية على المحور وليكن على مستوى الشكل قط  $M$  و  $M'$  و  $M''$  الخ  
دالة على مساقط مراكز ثقل النقط للمادية المحصورة في كل مستوى فتكون محصلة  
سائر القوى المبعدة عن المركز مبينة بمحصوله قوى  $M \times M$  و  $M' \times M'$

و  $M'' \times M''$  الخ ثم انه يلزم لاجل تعيين محصلة هذه القوى تفصيل  
التي هي محصلة القوى الموضوعة في احدى جهتي المحور وتفصيل  
التي هي محصلة القوى الموضوعة في الجهة الاخرى منه فان كانت قوتا

$H$  و  $X$  موجودتين على عمود واحد على المحور وكان هذا المحور مارا  
بمركز ثقل الجسم فان هاتين القوتين يكونان بالضرورة متوازيتين وبنا على ذلك  
لا يمكن أن يتحرك المحور في جهة ما بتأثير القوى المبعدة عن المركز

كافي شكل ١٢ اذا كان عمودا  $H$  و  $X$  المتندان على محور

$S$   $G$  لا يتسبان المستقيم واحد فان المحور يكون مجبورا على الدوران

بتأثير قوتي  $H$  و  $X$  المضروبين على التناظر في بعدي  $G$  و  $G'$

و بضرب مقدار  $H$  و  $X$  بالنسبة لمركز ثقل  $G$  بضرب قوة  $M$

$M \times M$  في  $G$  وقوة  $M' \times M'$  في  $G'$  وقوة  $M'' \times M''$  في

في  $G''$  وهلم جرا ثم يتطرح مجموع مقادير القوى المؤثرة في جهة

مساو لجمعوع مقادير القوى المؤثرة في الجهة المتقابلة لهما لا  
وقد يبرهن بطرق حسائية لاحاجة الى ذكرها هنا على ان مساواة المقادير  
الاعتيادية شرط لا بد منه في جعل مقدار اي ترس الجسم المأخوذ بالنسبة لمحور

س غ ص نهاية كبرى او صغرى

واذا اريد ان محاور الطيارات وسائر المحاور المستعملة في آلات الدوران لا يقع  
عليها من تأثير القوى البعده عن المركز ضغط في اي جهة كانت لزم تنظيمها بحيث

تكون قوتا ح و خ موضوعتين دائماً على مستقيم واحد عود على  
المحور في الزمن الذي يكون فيه هذا المحور ما را يمر مركز الثقل

وما يكون للحاصل المستوفية لهذا الشرط من عظيم النفع في تحرر الآلات  
يؤيد نعيمتها بالمحاور الاصلية

وبعد تعيين الاجزاء الكثير الفائدة الملائم لمحور الطيارات يلزم معرفة السرعة  
التي تكون للطيارات عندما يستعمل في تحرر كما قوة معينة ويكون حجمها  
ومحجمها معينين ايضا

ولاجل مزيد السهولة نقرض ان محور الدوران عود على مستوى شكل ١١  
وليكن مينا نقطة و فيدور الجسم حول هذا المحور بواسطة قوة

ف ف على بعد و ف الذي هو بعد المحور المذكور ونقرض ف ف  
في مستوى الشكل المتقدم

فيكون الجهد او مقدار ف ف الممد لتدوير المحور مينا بكيفية  
ف ف x و ف

وتكون السرعة الموزونة وهي ا التي يأخذها الجسم هي القوس المقطوع  
مدة وحدة الزمن على الدائرة التي يكون نصف قطرها مأخوذاً وحدة لهما  
تقطع م التي هي النقطة المادية من الجسم في مدة وحدة الزمن قوس م م

$$\overline{A} \times \overline{M} =$$

تكون  $\overline{M}$  التي هي كمية التحرك حيث نهي  $\overline{M} \times \overline{A} \times \overline{M}$  وتكون  
الكمية الكلية للتحرك تقط الجسم وهي  $\overline{M}$  و  $\overline{M}$  و  $\overline{M}$  الخ

$$\overline{A} \times \{ \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \dots \}$$

ولاجل قياس التأثير الحاصل من كل عنصر بواسطة كمية التحرك المذكورة

لاجل تدوير المحور يلزم تحويل سائر نقط  $\overline{M}$  و  $\overline{M}$  الخ الى مستقيم

قوة من احدى جهتي المحور بدون أن يتغير بعدها عن هذا المحور وعلى ذلك

فسائر القوى المماسية التي تدفع  $\overline{M}$  و  $\overline{M}$  و  $\overline{M}$  الخ وهي القوى

المدلول عليها بكميات التحرك المتصلة معنا سابقا تكون متوازية

ومتجهمة الى جهة واحدة وتكون محملتها وهي  $\overline{R}$  بموجب قاعدة مقادير

القوى معلومة من ضرب كل قوة في بعدها عن المحور فاذن يكون

$$\overline{R} \times \overline{R} = \overline{A} \times \{ \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \dots \}$$

او يكون على سبيل الاختصار

$$\overline{R} \times \overline{R} = \overline{A} \times \{ \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \dots \}$$

وتكون قوة  $\overline{R}$  باقية على حالتها وكلما تزايد مجموع  $\overline{M} \times \overline{M}$

+  $\overline{M} \times \overline{M}$  +  $\overline{M} \times \overline{M}$  تناقصت سرعة  $\overline{A}$  المتزوية وبالعكس

اي كلما تناقص هذا المجموع تزايدت سرعة  $\overline{A}$  المتزوية وبناء على ذلك

يكون المجموع المذكور دالا على مقاومة الجسم للتحرك الدوراني

بواسطة الا ينسب متى اثرن في هذا الجسم قوة معلومة ومن ثم قبل لهذا

المجموع مقدار لا ينسب فاذن يكون مقدارا لا ينسب لنقطة مادية هو

مجسمها وهو  $\overline{M}$  مضروبا في مربع بعدها عن محور الدوران ويكون

مقدار الاينرمى الجسم ما مساويا لمجموع مقادير اينرمى كل جزء من اجزائه الصغيرة جدا وبالجملة فالسرعة المتزوية التي يأخذها الجسم بواسطة قوة ما حول محوره تساوى المقدار البسيط لهذه القوة مقسوما على مقدار اينرمى الجسم وهذه هي السرعة التي قوتهاها

ولمقادير الاينرمى خواص مهمة جدا في علم الميكانيكا لا يمكن ذكرها هنا لان ذلك يستدعي معارف عالية ولنفرض قطعتين مائتين كتطقي

م و م (شكل ١٢) يكون مركز ثقلهما في نقطة غ ونذرهما

حول محور غ ص العمودى على م غ م فيكون مجموع مقادير اينرمى م و م هو

م × غ م + م × غ م × م وليكن الآن محور م غ ص موازيا لمحور س غ ص فيكون مقدار الاينرمى بالنسبة لهذا المحور البعيد هو

م × غ م + م × غ م فيكون فاضل هذين المقدارين هو م × غ غ + م × غ غ اعني مربع غ غ الذي هو بعد المحور

عن مركز الثقل مضروبا في مجموع مجسمى م و م وليست هذه الخاصية مقصورة على قطعتين مائتين بل تجري ايضا في كثير من النقط التي يتركب منها الجسم الذي يمكن أن يكون له صورة ومجسم حينما اتفق وعلى ذلك مقدار الاينرمى في اتجاه س غ ص المتروك

لمحور الدوران يكون صغيرا مهما أمكن متى كان هذا المحور ما ذا بنقطة غ التي هي مركز ثقل الجسم فاذا لم يكن ما ذا بمرکز الثقل المذكور فان مقدار

الاينرمى يزاد بكمية مساوية لجسم الجسم منفر وبافى مربع بعد المحور  
 عن مـ  $\overline{\text{كـ}}$  قـل الجسم ولنجعل مـ  $\overline{\text{كـ}}$  مقدار اينرمى الجسم الذى  
 مجسمه مـ عندما يكون المحور مارة بمركز الثقل فيكون  $\overline{\text{كـ}}$  دالا على  
 طول معلوم فاذا رمز بحرف  $\overline{\text{دـ}}$  الى بعد مـ من مركز الثقل عن اى محور دوران  
 $\overline{\text{كـ}}$  كان مقدار الاينرمى بالنسبة لهذا المحور مـ  $\times (\overline{\text{دـ}} + \overline{\text{كـ}})$   
 وهو مقدار يسهل حسابه بمجرد معرفة مقدار الاينرمى المعين بالنسبة  
 لمستقيم مواز للصورة ويمتد من مركز الثقل  
 ويكون بالبداية مقدار اينرمى سائر المحاور الموازية لاتجاه معلوم  
 والموجودة كلها على بعد واحد من مركز الثقل كبعد  $\overline{\text{دـ}}$  هو

$$\text{مـ} (\overline{\text{دـ}} + \overline{\text{كـ}})$$

ويمكن ان تقابل بين مقدار اينرمى الجسم المأخوذة بالنسبة لمحاور متنوعة  
 مارة بمركز الثقل فتقول يوجد في هذه المحاور محور مقدار اينرمىيه اصغر  
 من مقدار اينرمى ماعناه من المحاور ولا مانع من تسميته بمحور الاينرمى  
 الصغير وهناك محور ثان عمودى على هذا المحور مارة بمركز الثقل مقدار اينرمىيه  
 $\overline{\text{كـ}}$  كبير مهما امكن ولا مانع من تسميته بمحور الاينرمى الكبير وثم ايضا  
 محور ثالث عمودى على الاثنين السابقين لا مانع من تسميته بالمحور المتوسط  
 تكون له هذه الخاصية وهى ان مقدار اينرمىيه يكون في جهة  $\overline{\text{كـ}}$  كبيرا  
 مهما امكن وفي الاخرى صغيرا مهما امكن وهذا بالنسبة للحوارين  
 المستدين  $\overline{\text{اـ}}$  في المستوى الحاصل بين هذا المحور الثالث ومحور الاينرمى  
 الصغير  $\overline{\text{بـ}}$  في المستوى الحاصل بين المحور الثالث ومحور الاينرمى  
 الكبير وهذه المحاور الثلاثة الشهيرة هى المعروفة بالمحاور الاصلية للجسم  
 وهى التى لوحظ من اجلها فيما سبق انه فى اى جهة تكون موازية لمحور  
 الجسم او عمودية عليه لا تكون القوى المبعدة عن المركز مؤثرة تأثيرا يتغير به  
 وضع المحاور المذكورة

وينتج من ذلك ان الجسم المتحرك دفعة واحدة حول احد محوري دوراته الاصلية يكون ملازما دائما للتحرك حول هذا المحور اذ ليس هنالك قوة مبعدة عن المركز تؤثر في جهة ما حتى يصرف وضع الجسم بالنسبة للمحور المذكور ويؤخذ من ذلك في آلات الدوران التي يلزم أن يكون محورها ثابتا ان احد محاورها لا يترسى الاصلية يكون محور دوران للاجرام الدائرية فاذا كان الجسم الذي كثافته واحدة في سائر اجزائه منتبها بسطح دوران وكان هذا الجسم متماثلا بالنسبة لمحور السطح المذكور فظهر لك بالسهولة عند تدوير الجسم حول هذا المحور ان القوى المبعدة عن المركز لا يحصل منها تأثير يغير وضع محور الدوران وحيثئذ يكون هذا المحور من محاور الجسم الاصلية

وسيا أتى عند ذكر آلات الدوران التي هي البكر والمضيق والمعطاف وغورها انه يلزم أن يكون للاجزاء المتحركة صورة سطح دوران يكون محوره محور الدوران اجتنابا لما لا فائدة لمن تأثير القوى المبعدة عن المركز ثم ان قطع جميع الاجسام التي لها محور تماثل تكون موضوعة مشي في بعد واحد من المحور على العمود النازل عليه فاذا ادير الجسم حول محور تماثله فان كل قطعتين موضوعتين بهذه التثابة يكونان مدفوعتين بقوتين مبعدين عن المركز متساويتين ومتضادتين فان تكون هذه القوى معدمة لبعضها مشي ولا يحدث عنها تأثير ما على المحور وبناء على ذلك كلما دار جسم حول محور تماثله لم أن يستقر على تحركه حول هذا المحور اذا خلى وقته

وهذا هو تأثير تحرك الدقمة وما شاكلها عملياً ودور حول محور تماثله الموضوع وضعا رأسيًا وتستمر الدقمة على التحرك مع الانتظام بعد أن تدفع دفعة اولية بواسطة جبل او نحو او بإدارة اسفلها بالايهام والسبابة ثم تخلى وقته

وقد نبهنا سابقا على أن الخبفات تكون تماثله بالنسبة للصور الرأسية المارة بنقط تعليقها ولهذا يمكن دورانها بالمعارض حول هذا المحور بدون



أن تميل الى جهة اصغر من اخرى وهذا التأثير يمكن مشاهدته في الخفيات  
لا سيما اذا كانت معلقة في قباب مرتفعة

وفي آلات الدوران وهي الخيول او الكراسي المصنوعة من الخشب تكون تلك  
الخيول او الكراسي المعدة لركوب الانثصاص الذين يلعبون لعبة الخاتم  
موضوعة بالتماثل حول محور الدوران الرأسي وبناء على ذلك اذا حركت  
هذه الآلات فانها تستمر على تحركها بدون أن يحصل من اينرسيا جهد  
من كلتا جهتي المحور

وقد تقل قوة  $m$  مع سرعة  $v$  جسم  $m$  المفروض انه لامعارض له  
تلا مستقيما فاذا افترضنا قوة  $m$  المذكورة على جسم  $m$  المفروض  
انه ثابت بالمحور وكانت  $L$  هي بعد القوة عن هذا المحور يلزم أن  $m$  و  $L$   
وهو مقدار القوة بالنسبة للمحور يكون مساويا  $m(L + \frac{L^2}{2}) = A$   
مضروبا في مقدار اينرسي الجسم بالنسبة للمحور

واذا فرضنا ان الجسم موضوع على وجه بحيث يدور حول محوره بدون  
أن يقع عليه ضغط في جهة ما فان هذا الجسم يتحرك كالموكان لامعارض له  
ويكون لمركز ثقله سرعة تساوي  $v$  وهي مينة بخط  $DA$  فاذن يكون  
 $v = DA$  و  $m \cdot v = m \cdot DA = A = m(L + \frac{L^2}{2})$   
وننتج من ذلك أن

$$DA = \frac{L}{2} + \frac{L^2}{2} + \frac{L^3}{6} + \dots + \frac{L^n}{n}$$

ويطلق مركز الدوران على نقطة من نقط امتداد اقصر بعد من المحور

عن مركز الثقل في  $\frac{L}{2}$  تكون على بعد  $DA + \frac{L}{2}$

من مركز الثقل عن المحور متى اثرت قوة في هذه النقطة تأثيرا عموديا على  
هذا المستقيم اي المحور فانها تدبر الجسم بدون أن تدفع المحور الى جهة ما

فاذن تكون القوة المساوية والمقابلة لها معدومة لقوة الدوران الحادثة  
عن القوة الاولى بدون أن يحصل منها أدنى ضغط على المحور وهذه هي خاصية  
مركز الدوران وليكن  $\frac{P}{S} = \frac{W}{S}$  فينبغي أن  $\frac{P}{S} = \frac{W}{S}$  و  $\frac{P}{S} = \frac{W}{S}$   
ويعلم من ذلك أنه يمكن نقل المحور بالتوازي لنفسه حتى يترك مركز الدوران  
وحينئذ ينقل مركز الدوران الى الطرف الآخر من  $L$  على المحور القديم  
وفي هذا النقل المنعكس فائدة جليلة

\*(بيان البندول)\*

اذا ربطنا في طرف خيط رقيق خفيف جدًّا جسمًا ثقيلًا لكنه صغير الحجم  
ككلمة من حديد او رصاص او بلاتين (وهو الذهب الأبيض) وربطنا  
طرفه الآخر في قطعة ثابتة كان للكلمة في حالة السكون وضع يكون فيه الخيط  
رأسيًا ويكون مركز ثقلها في الاتجاه الرأسى للخيط المذكور وهذا هو  
البندول المعروف ايضا بالشاقول (راجع الدرس الرابع من هذا الجزء  
شكل ١٨ مكرر) ثم ان اهمية الشاقول المتحرك والشاقول الساكن  
واحدة في الاستعمال فاذا ابعدنا الشاقول عن الخط الرأسى كان ثابتًا  
في قطعة  $\theta$  وتمدًا ومما ينبغي التنبيه عليه انه اذا خلى الجسم وقسمه  
وقطع النظر عن المقامات المتنوعة ياخذ ثقل  $A$  (شكل ١٣)  
في الهبوط بسرعة غير محسوسة تزايد شيئاً فشيئاً عند ما يقرب هذا الثقل  
لماز ينقطع  $A$  و  $A$  و  $A$  الخ من خط  $\theta$  و الرأسى فاذا وصل الى  
هذا الخط استمر على سيره وارفع من  $A$  و  $A$  و  $A$  الى  $A$  اعنى يكون  
في ارتفاع قطعة  $A$  ومتى وصل الى هذا الحد اخذ في الهبوط ثانية من  $A$  الى  $A$  الخ  
كما يبط من  $A$  ثم يرتفع ثانية الى  $A$  كما ارتفع الى  $A$  ثم يقف  
في قطعة  $A$  ليهبط كالزق الاولى وهكذا بالتوالي الى ما لا نهاية  
ويمكن بخواص الميكانيكا اثبات قوانين التمرّد المتعدد المعروف بتمرّد الارتمجاج

ويطلق اسم البندول على الشاقول اذا استعمل لاحداث رجات بلا عن استعماله للدلالة على الخط الرأسى

وفي كل لحظة من هبوط البندول بالانتهاء من  $\bar{A}$  الى  $\bar{O}$  يحدث من جذب الارض دفعة جديدة لهذا البندول ليقترب من مركز الارض وباتحاد هذا الجذب مع القوة المماسية المكتسبة تحدث جملة شديدة لاحد لها بدون تأثير خيط  $\bar{A}\bar{B}$  الذى يحدث منه تأثير قوة مركزية

ولترمز بخط  $\bar{A}\bar{X}$  (شكل ١٤) الى تأثير التناقل وبمستقيم  $\bar{A}\bar{S}$  الى القوة المماسية المكتسبة من الشاقول عند وصوله الى  $\bar{A}$  وليكن  $\bar{A}\bar{C}$  رمزاً الى القوة المركزية فيتصل معنا اولاً ان  $\bar{A}\bar{C} = \frac{\bar{A}\bar{S}}{\bar{A}\bar{B}}$  وثانياً ان

قوى  $\bar{A}\bar{X}$  و  $\bar{A}\bar{C}$  يتحدان مع قوة  $\bar{A}$  المماسية بأنفسها  $\bar{A}\bar{X}$  على  $\bar{A}\bar{X}$  من محاس الدائرة في نقطة  $\bar{A}$  ثم نضيف هذا المقتطوع  $\bar{A}\bar{X}$  الى  $\bar{A}\bar{S}$  اذا كان البندول هابطاً او نطرحه منه اذا كان صاعداً ثانياً وحيثئذ تحدث معنا القوة المماسية عقب الزمن الذى يكون فيه البندول معاً لتقطع قوس يساوى  $\bar{A}\bar{S}$

وهذا يؤدى الى اتساع صعود البندول في ازمته واحدة تقطرح الكميات التى اضفناها الى القوة البعثة عن المركز وحيثئذ تكون هذه القوة عند الهبوط والصعود واحدة في النقط التى على بعد واحد من النقطة المنخفضة عنها وينبى على ذلك أن هذه القوة اذا انعدمت من جهة انعدمت من الجهة الاخرى في ارتفاع واحد

وعلى ذلك فالنظريات ثبت ما دلت عليه الصبر بمن تساوى صعود البندول وهبوطه وتماثلهما

وهنا الخاصية اخرى عظيمة جداً تتعلق بالبندول وهى ان المدة الكلية للرجتين الصغيرتين تكون واحدة هرباً وان كان القوس المقطوع في احدى

هاتين الرجتين ضعف القوس المقطوع في الرجة الاخرى مثني او ثلاثا وارباع  
وهكذا مهما كانت نسبة القوسين المقطوعين

ولاجل البرهنة على هذه الخاصية فرض بتدوين كيندولي  $\overline{شأ}$  و  $\overline{شا}$   
متساويين (شكل ١٥) و (شكل ١٦) تحتلني البعد من المستقيم

الرأسي في مبداء الرجة وليكن تأثير التناقل المين في هذين الشكلين برمز  $\overline{أغ}$

$= \overline{أغ}$  حاصل واحد في المدة الاولى فاننا اسقطنا  $\overline{أغ}$  في  $\overline{أغ}$  على

قوس  $\overline{أق}$  و  $\overline{أغ}$  في  $\overline{أغ}$  على قوس  $\overline{اا}$  كان  $\overline{أغ}$  و  $\overline{أغ}$

هما القوتان المماسستان

ولتخذ خطي  $\overline{اص}$  و  $\overline{اصه}$  الاقسين الى خطي  $\overline{شق}$  و  $\overline{شق}$

الأسمين فاذا فرضنا ان مثلث  $\overline{أغغ}$  صغير جدًا وامكن جعل قوس

$\overline{أغ}$  عمودا على  $\overline{غغ}$  وكذلك على  $\overline{شا}$  فان مثلثي  $\overline{ااص}$

و  $\overline{أغغ}$  القائمي الزاوية يكونان متشابهين حيث ان ضلعيهما المتقابلين

عمودان على بعضهما

وقد يبرهن بمثل ما تقدم (شكل ١٦) على ان مثلثي  $\overline{ااصه}$  و  $\overline{أغغ}$

القائمي الزاوية يكونان متشابهين فاذا ن يحدث هذان التناسبان وهما

$$\overline{اا} : \overline{أغ} :: \overline{اص} : \overline{أغ}$$

$$\overline{اا} : \overline{أغ} :: \overline{اصه} : \overline{أغ}$$

لكن حيث ان  $\overline{اا}$  و  $\overline{اا}$  متساويان وكذلك  $\overline{أغ}$  و  $\overline{أغ}$  فانه يحدث

ايضا هذا التناسب وهو  $\overline{اص} : \overline{أغ} :: \overline{اصه} : \overline{أغ}$

فإذا فرضنا الآن أن الرجة تكون قليلة الامتداد جدا فإن القاضل بين

اص وقوس اق يكاد يكون معدوما وكذلك فاضل اصه وقوس

ان وعلى ذلك تكون المسافة المتطوعة في الوقت الاول مناسبة تقريبا

لامتداد قوس اق و ان

ويبرهن ايضا بوجه تقريبي على ان السرعة المتساسة تزداد عقب الوقت الثاني

والثالث والرابع الخامس وبناء على ذلك تكون المسافة التي يقطعها البندول

الاول والثاني في كل من هذه الاوقات مناسبة للنسبة المعتدة لسير البندول

وعلى ذلك متى كانت المسافة الباقية التي لم يقطعها البندول الاقل معدومة

كانت المسافة الباقية التي لم يقطعها البندول الثاني معدومة ايضا وحيث

يصل البندولان في زمن واحد الى اعظم رجة فاذن يكون للرجات مدة واحدة

اذا قطع النظم عن التفاضلات الصغيرة جدا

ويكون لهذه الخاصية الاخير منفعة عظيمة في الفنون وعلوم الرصد في حالة

ما اذا قصرنا البندول وعلى نفسه وبما رضى مقاومة الهواء جميع حركاته

وابطأتم بالتدريج وبذلك تنقص مسافة الرجات لكن لم تزل مدتها واحدة

فإذا كان البندول ثقيلًا جدًا كالرصاص او البلاطين كانت المقاومة التي

تعرض لهذا الجسم ضعيفة لا تغير مدة رجاته الا تغييرا قليلا فيكون معظم

هذه الرجات باقيا تقريبا على مدته الاصلية غير أن تكرر الرجات المستمر المعرض

للمقاومات الهواء الصغيرة ينقص بالتدريج مسافة الرجات ومع ذلك كله

تكون تلك الرجات متساوية تقريبا وزيادة على ذلك ينقص القاضل الصغير

الموجود بين المدد المتتالية بحسب مخالفة هذه الرجات للرجة الاصلية

ثم ان الاجسام تكون سرعة الوقوع اذا كان مبدء وقوعها من نقط قريبة

من مركز الارض وقد علم مما سبق أن المسافتين الرئيسيتين اللتين يقطعهما الجسمان

المخيلان وانفسهما للتناقل بدون معارض تكونان على نسبة منعكسة من

مربعي بعدهما عن مركز الارض

وعلى ذلك متى كانت اطوال البندولين على نسبة منعكسة من مربع بعد  
البندول عن مركز الارض فان رجات هذين البندولين تكون حاصلة في زمن  
واحد

وقد دلت الارصاد الفلكية وقياس الارض دلالة هندسية على أن الكرة  
الارضية مسطحة من جهة القطبين لان سكان الارض اذا قربوا من القطب  
قربوا ايضا من مركز الارض وبموجب ذلك اذا كان الانسان في جهة  
القطب فانه يرى البندولين اللذين يتحدث رجاتهما في زمن واحد اطول  
مما اذا رآهما وهو في خط الاستواء فحينئذ اذا كانت مبداء السير من خط  
الاستواء لزم ان البندول يتزايد بالتدريج كلما قرب الانسان من القطب  
لتكون مدة الرجات واحدة وزيادة على ذلك يكون طول البندول مبداء  
في كل مكان لبعده من مركز الارض عن النقطة التي يدق فيها ذلك البندول

وبدوران الارض ينعدم من تناقل الاجسام جزء صغير لتتبادل قواها  
المبعدة عن المركز وتثبت تلك الاجسام على سطح الكرة وهذه القوة التي  
لا وجود لها في القطب تبلغ نهايتها الكبرى في خط الاستواء

وبملاحظة سببي التغير معاتلم مطابقة العلم للتجربة ولله در المهندس بوردا فانه  
لمهارته اختراع بندول منتظما بواسطته يحصل مع غاية الضبط قياس  
ابعاد مركز الارض عن سطحها التي يتألف منها الخط الجغرافي  
الذي يقبى على قياسه الطريقة المتربة ثم ان ما وقع بين النتائج المأدنة  
في موضوعنا هذا من علم الهندسة والميكانيكا من غريب التوافق والاتحاد  
هو من اعظم الشواهد على ما للعلوم من القوة من حيث الاستعانة ببعضها  
على فهم غوامض البعض الاخر ومن حيث انه يتوصل بها الى صحة الظنيات  
التي لا يخلو عنها كل علم وتعلمها في تلك الطرق المتصلا كالتى لا يوجد فيها  
انطلاقا نادرا بحيث تكون مثلها في القطع بعضها

وعوضا عن أن قرض أن التناقل يتغير قرض أن طول خيط التعليق هو الذي  
يتغير وقرض بندولين غير متساويين كبندولي شأ و شأ

(شكل ١٧ و ١٨) يحدث هذا التناسب وهو

اث : اث :: م : ١

فإذا كان زيادة على ذلك نسبة قوس آق : قوس اق :: م : ١

كان شكلا ائق و ائق متشابهين

ولتكن آغ هي المسافة التي تقطعها في زمن ط = ١ بواسطة

التناقل نقطة ا المادية القروض له لامعارض لها وليكن آغ = م

× آغ فيكون آغ حيث ندلا على المسافة التي يجبر تأثير التناقل جسم ا القروض له لامعارض له على قطعها في اوقات عدد م (وحرف م يدل على عدد غير محدود)

ونسقط آع في آغ و آغ في آغ فيحدث من مثلثي آغ غ و آغ غ المتشابهين هذا التناسب وهو

اث : اث :: آغ : آغ :: آق : اق

وعلى ذلك فساقتا آغ و آغ اللتان قطعهما البندولان بواسطة تأثير التناقل المكر في زمن م بالنسبة للبندول الاول وزمن ا بالنسبة

للتاني تكونان مناسبتين لقومي آق و اق فيحرك حيث ند البندولان

بالتناسب على قومي آق و اق بحيث تكون ازمة البندول الاول م حين تكون ازمة الثاني ا فاذن تكون نسبة الزمنين الكليين اللذين استغرقهما البندولان في الوصول من اعلى نقطة الى الخط الرأسي الى بعضهما

كسبة م : ا حتى كانت نسبة طول البندول الى بعضهما :: م : ا بمعنى انه في المحل الواحد من الارض تكون اطوال البندولين غير المتساويين مناسبة لمربعي الزمنين اللذين استغرقهما هذان البندولان في أحداث رجائهما

واقول من عرف قانون قنزل البندولات هو المهندس الشهير غاليليه صاحب الاستكشافات اللطيفة في ميكانيكا التأخرين وقد أجرى في ذلك عملية عظيمة تتعلق بقياس ارتفاع القباب والقبوات

وقد جرت العادة بأنه يعلق في الهياكل والسرايات بأعلى نقطة من القباب والقبوات ثبغات ذات ثقل عظيم بالنسبة للعبل أو السلسلة المعلقة هي بها ويسكن في أحداث ارتجاج هذه البندولات العظيمة ادنى شيء من الهواء وقد لاحظ المهندس غاليليه مدة هذه الارتجاجات فرأى أن المدة التي يرتج فيها بندول النخبة الواحدة عشر مرات مثلاً لا يرتج فيها غيره إلا مرة واحدة وحيث إن مربع العشرة أي عشرة مضروبة في مثلها يساوي مائة يكون البندول الأول أطول من الثاني مائة مرة فإذا كان طول البندول الصغير معلوماً فإنه يحدث بأخذ مائة مرة طول البندول الكبير وبذلك يعلم الارتفاع الذي يكون لفتح القبة أو القبوة فوق النخبة التي لقربها من الأرض يسهل قياس ارتفاعها وعلى ذلك يمكن استعمال البندول في قياس الزمن بواسطة تساوي مدة رجاء الصغيرة ويمكن استعماله أيضاً في قياس الارتفاعات بواسطة زيادة تلك المدة أو نقصانها

وقد عرف طول البندول الذي يذب التواني السنينية برصدها في مدينة باريس معرفة صحيحة فكان مقداره من الأمتار ٩٩٣٨٢٦٧ و نفعي ذلك لو انعدمت أصول الأقيسة الفرنسية وبهجهادته من حوادث الزمان وتقلبات الدهر حتى صارت خفية على العقول لا يمكن معرفة طول المتر بمجرد النظر إلى البندول الذي يذب التواني بمدينة باريس

ولوعرف الرومان واليونان مثل هذه الطرق الناشئة من العلوم لبقيت جميع أقيستهم عندنا إلى الآن ولم يبق من المسائل التي لا يثبتها في العلوم والفنون والحرف مسألة بلا حل وبيان

ولنطلب في الكلام على هذا الأمر المهم الخاص بالعلوم التي بها يتوصل



الى ضبط اشغال الانسان وان كان الزمن متقلبا غير مضبوط وبسببها تناسط الارصاد والاشغال الوقية بهركة الزمن المستمرة وقطع المسافات الارضية التي لا تتغير وبذلك تحقق ثمرات مشروعات الانسان ويتخذ ذكره على عمر الازمان مقول

ان الساعاتية اخترعوا امر ابداعيا يتعلق بالپندول وهو صناعة الآلات الدالة على الزمن المعروفة بالپندولات

ولنفرض دائرة معدنية محمّدة من جهة المركز على هيئة العدسة فلذا سميت بالعدسة ونعلقها في قضيب يكون متبعا الى مركزها فاذا حركت حول الطرف الاخر من القضيب المذكور حدثت عن ذلك پندول كذا يستعمله الساعاتية

وكل رجتمن درجات هذا الپندول الحاصلة في ازمته متساوية الموازنة للسير الثابت الپندول والساعة الدافقة تكون بمنزلة الحافظ للقوى والنظم لها ولا تكون هذه الآلة مضبوطة الا اذا كانت لا تتغير ابعاد الماكة التي تتركب هي منها حيث ان القضيب المعد لتعليق العدسة يمتد بواسطة تأثير الحرارة ويتكمش بواسطة تأثير البرودة وبذلك تكاد مدة درجات الپندول تتغير دائما وقد صنعوا پندولات تعديل وهي پندولات تعادل فيها تغيرات اطوال الاجزاء المتشوقة للمركبة لها

وقد تبين انه كلما زادت الحرارة امتدت قضبان النحاس بنسبة معلومة اكثر من قضبان الحديد وكلما قصت الحرارة انكمشت تلك القضبان بنسبة معلومة اكثر منها ايضا وبموجب ذلك استعملوا التعليق عوضا عن قضيب واحد عدة قضبان بعضها من الحديد وبعضها من النحاس

ولنفرض قضبان الحديد كقضيب **أ ب** (شكل ١٩) فجعل في نهايته السفلى عارضة اقنية كعارضة **ش د** عليها قضبان رأسيان من النحاس كقضبي **ش هـ** و **د ف** وعارضة اخرى اقنية يمتصها طوق يمر منه قضيب **أ ب** فجمع بين قضبي النحاس المذكورين ويكون

في قطبي  $\overline{ك}$  و  $\overline{ل}$  التين هما نهايتا العارضة المذكورة قضيان  
من حديد قضبي  $\overline{كسم}$  و  $\overline{لن}$  مجتمعان معا بواسطة عارضة  
 $\overline{من}$  ومثبتان في عدسة و نحيث يعلم ان ازدياد الحرارة في هذه الحالة  
على قضبي الحديد وهما  $\overline{اب}$  و  $\overline{كسم}$  اللذين على ارتفاع  $\overline{اس}$   
الحقيقي يزيد تباعد نقطة التعليق وهي  $\overline{ا}$  عن مركز العدسة زيادة تناسبية  
لارتفاع  $\overline{اس}$  المذكور وأن قضبي النحاس وهما  $\overline{ثه}$  و  $\overline{دف}$   
عند امتدادهما بواسطة تأثير الحرارة يرفعان عارضة  $\overline{كل}$  ويرفعان  
ايضا في زمن واحد قضبي الحديد وهما  $\overline{كسم}$  و  $\overline{لن}$  وكذلك  
عدسة و المطة فيهما فتكون الكمية التي ترتفع بقدرها العدسة بواسطة  
تأثير قضبي النحاس مناسبة لطول  $\overline{هث}$  او  $\overline{فد}$  وينتج من ذلك  
انه اذا كان طول  $\overline{اس}$  و  $\overline{هث}$  مناسبين لامتداد النحاس في الاول  
والحديد في الثاني يكون مركز العدسة مخفضا بامتداد الحديد بقدر الكمية التي  
يرتفع بها المركز المذكور بامتداد النحاس وما فرضناه في ازدياد الحرارة يمكن  
فرضه ايضا في قصانها فتكون الكمية التي يرتفع بقدرها مركز العدسة بالكاش  
قضبي الحديد مساوية للكمية التي ينخفض بقدرها مركز العدسة بتأثير  
انكماش قضبي النحاس

وقد فرضنا في جميع ما ذكرناه أن البندول ليس الا خطا مجردا عن التناقل  
معلقا بنهايته نقطة مادية لها ثقل مائل لكن ليس في الطبيعيات بندولات بهذه  
المناسبة فاذا استعمل في ذلك سلك لين او قضيب غير لين كان لكل من اجزائه  
ثقل معلوم و حجم معلوم وكذلك الجسم المعتبر نقطة مادية له ثلاثة ابعاد تتمتع  
التياسه بالنقطة المادية المذكورة ولا بد من معرفة القوانين التي تكون  
بمقتضاها رجاءات هذا البندول المعروف بالبندول المركب

ولنعلق نقطة واحدة من محور واحد بندولين متساويي الجسم احدهما  
وهو  $\overline{ش}$  وبسيط (شكل ١٤) والاخر هو  $\overline{ش د ه ف}$   
مركب فحق استقر هذان البندولان صا رساق البندول البسيط رأسيًا  
وماز ايجز كز نقل البندول للمركب

ولتدفع هذين البندولين بقوة اقصية مؤثرة على بعد كبعد  $\overline{ر}$  عن المحور  
فيكون تأثير التناقل معدوما بالمحور في الزمن الاول ليكون للبندولين سرعة  
واحدة منزوية ويغيبى أن يكون مركز دوران البندول المركب متباعدا  
عن المحور بكمية  $\overline{ر}$  المساوية لطول البندول البسيط فاذن يكون

$$\overline{ر} = \overline{د} + \frac{\overline{د}}{د}$$

ولنجث عن التأثير الذى يحدثه التناقل على البندولين عند تباعدهما  
عن المستقيم الرأسى فنقول

لتفرض أن التناقل يؤثر من مبداء الامر على  $\overline{غ و}$  (شكل ١٥)

الذى هو ساق البندول البسيط المار داتها بنقطة  $\overline{غ}$  التى هى مركز نقل

البندول المركب وليكن  $\overline{ول} = \overline{غ ع}$  هو الارتفاع الرأسى

الذى تقيس به تأثير التناقل فى البندولين فى زمن يسير كزمن  $\overline{ط}$  ونحمل

$\overline{ول و غ ع اى ول و غ ع}$  فحللا عودى على  $\overline{ش غ و}$

فيكون تأثير التناقل الحاصل على مركز نقل البندول المركب مينا بنط

$\overline{غ ع}$  وتأثير التناقل الحاصل على البندول البسيط مينا بنط  $\overline{ول}$

$= \overline{غ ع}$  لكن حيث كانت نقطة  $\overline{و}$  موجودة فى مركز دوران البندول

المركب فان قوة  $\overline{غ ع}$  المنقولة الى  $\overline{ول}$  تدبر البندول كما اذا كان

فى نقطة  $\overline{و}$  اى كالم استبدل البندول البسيط بالبندول المركب

فاذن تكون السرعة المنزوية الحادثة من التناقل واحدة في كل من البندولين البسيط والمركب وعلى ذلك يكون أولا البندولان البسيطان مستمرين بواسطة تأثيرات التناقل المتوالية على ارتجاجهما بسرعة واحدة وثانياً يكون طول البندول البسيط هو بعد المحور عن مركز الدوران المعروف حيث يتركز الارتجاج فاذن متى اعتبر في بندول مركب أن محور التعليق كمحور الدوران فإن مركز الدوران يمتزج بمركز التطبيق ويصيران شيئاً واحداً وقد تقدم أنه متى قل بالتوازي محور الدوران من ث الى و اسفل مركز الدوران من و الى ث على مستقيم شرعو فاذن اذا قل محور تعليق البندول المركب من ث الى و كان مركز الوجة منقولاً من و الى ث وموجوداً على محور التعليق الأول وقد استعملوا هذه الخاصية في تعيين وتحقيق طول البندول البسيط الذي تحصل رجاؤه في زمن حصول رجات البندول المركب ثم ان البندولات المركبة واوضاع مراكز قتلها ومحاور تعليقها ومراكز ارتجاجها هي من اعظم المهمات في صناعة الساعات الدفاعة وغيرها من الآلات ذات التحولات المتعددة لاسيما تحركات السفن عند ميلها من جانب الى آخر او من المقدم الى المؤخر وسياً في في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند الكلام على قوة الماء توضيح ذلك بآتم وجه

**\*( بيان معادل الآلات البضارية ) \***

في صناعة آلات الدوران التي تختلف فيما شدة القوة كالبضار على حسب تغير النار المستعملة تستعمل البندولات المركبة لتتبع بالتدريج مسلكاً للبضار عندما يحدث منه ضغط يبلغ حداً النهاية بحيث لو تجاوز ذلك لكان خطراً ومثال ذلك كرتان من حديد ملحومتان بقضيبين من حديد ايضاً يرتجان على محور افقي يميز بأسطوانة رأسية فاذا دارت هذه الاسطوانة حدثت من دوراتها قوة مبعدة عن المركز لكل من البندولين المركبين اللذين يدوران معها

بواسطة هذه القوة ويرفع كل منهما حتى تكون محصلة هاتين القوتين مارة  
بمحور التعليق وبذلك تكون معدومة وحيث كانت هاتان الكرستان اللتان  
بمجمعهما واحد الموضوعتان على وجه متماثل بالنسبة للصور يرتفعان  
و ينخفضان في كل وقت بكمية واحدة فإن الطوق الذي يدور بدون مانع  
حول الاسطوانة يكون معلقا بقضيبين متصلين بساقا البندوبين فإذا كان يكون  
هذا الطوق عرضة تارة للصعود واخرى للهبوط على حسب قرب الكرتين  
وبعدهما عن المحور وقد يحرّك هذا الطوق ذراع الرافعة الذي يفتح او يغلّق  
كثيرا او قليلا المنفذ الذي يخرج منه البخار المتراكم ( كما ستقف على ذلك  
في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة )

\*( الدرس الثامن ) \*

\*( في بيان الرافعة ) \*

قد ذكرنا جميع ما يتعلق بتصوير العمل التحوّل كالتحريك بواسطة الحبال اللينة جدا التي  
لا فائدة لها الا مجرد الشد بخلاف القضبان الغير القابلة للاثناء فان لها  
فائدتين وهما الدفع والشد

وهناك عدة آلات ليس الغرض منها الا أن تستعمل واسطة بين القوة والمقاومة  
المجهتين على مستقيم واحد كيد المسحكة ( شكل ٢ ) وكباشة المدفع  
( شكل ٣ ) في غن الطوبجية وكسقاط الجارة وسيقان المكابس ونحوها  
ولا يشترط في القضيب الغير القابل للاثناء كقضيب  $\overline{AB}$  ( شكل ١ )  
أن يكون مستقيما بل يكفي أن تكون صورة انحنائه ثابتة لا تتغير فاذا افترضنا  
على نقطة  $B$  قوة شد او تدفع في جهة  $BA$  او  $AB$  فان تأثير هذه  
القوة يكون واحدا دائما كما لو كان القضيب مستقيما

والرافعة قضيب غير قابل للاثناء مستند على نقطة ثابتة تعرف بنقطة  
الارتكاز وواقع عليه في نقطة ثابتة تأثير قوة لاجل ابطال مقاومة ماصلة  
في نقطة ثالثة وهي على ثلاثة انواع

النوع الاول ( شكل ٥ ) تكون فيه نقطة الارتكاز وهي  $A$  موجودة

بين قوة  $\overline{ح}$  ومقاومة  $\overline{ر}$

والنوع الثاني (شكل ٦) تكون فيه مقاومة  $\overline{ر}$  موجودة بين قوة

$\overline{ح}$  ونقطة الارتكاز وهي  $\overline{أ}$

والنوع الثالث (شكل ٧) تكون فيه قوة  $\overline{ح}$  موجودة بين مقاومة  $\overline{ر}$

ونقطة الارتكاز المذكورة

ولنفرض أن الرافعة المجردة عن التناقل تكون قضيا مستقيما كقضيب

$\overline{بأث}$  (شكل ٥) أو  $\overline{بشأ}$  (شكل ٦) أو  $\overline{أبث}$

(شكل ٧) العمودي على اتجاه القوة والمحصلة

فلا يمكن انعدام جهد قوة  $\overline{ح}$  ومقاومة  $\overline{ر}$  الا بنقطة الارتكاز

وهي  $\overline{أ}$  الثابتة في الآلة دون غيرها فاذن تكون محصلة  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$

مارة بنقطة  $\overline{أ}$  واذن يكون

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

اعني أن القوتين مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز تكون مساوية للمقاومة

مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز ايضا

فاذا استبدلنا رافعة  $\overline{بأث}$  العمودية على اتجاه قوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$

برافعة أخرى مائلة مضمخة او مستقيمة كرافعة  $\overline{سأث}$  لزم أن تكون المحصلة

دائما مارة بنقطة  $\overline{أ}$  ومن ذلك يحدث

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

وليس  $\overline{أب}$  و  $\overline{أث}$  الا مستقيمين وهميين عمودين على اتجاه قوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$

ولا بجل اختصار الصليات يمكن أن نفرض دائما أن كل ذراع من الرافعة

يكون مستقيما وعمودا على اتجاه القوة الواقعة على طرفه

ولنفرض قوتين متساويتين كقوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  (شكل ٨) عموديتين

على  $\overline{أب}$  و  $\overline{أث}$  المتساويين اللذين هما ذراعا رافعة  $\overline{بأث}$

المنكسرة فتكون هاتان القوتان مؤثرتين في جهتين متضادتين بحيث يديران

الرافعة حول نقطة الارتكاز وحيث كان التساوي حاصل في كلا الجهتين

وكانت الآلة متوازنة فان هذا التوازن يبقى على حاله مهما كان مقدار

زاوية  $\overline{ب\alpha\theta}$

ولتكن الآن قوة  $\overline{ر}$  مساوية ومقابلة لقوة  $\overline{ر}$  فتكونان متوازيتين  
وحيث أن قوة  $\overline{ر}$  على مقاومة  $\overline{ر}$  كتأثير قوة  $\overline{ح}$  عليهما فاذن تكون  
 $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  المتساويتان الواقعتان على طرفي ذراعي الرافعة المتساويتين  
وهما  $\overline{أب}$  و  $\overline{أ\theta}$  لهما شدة واحدة فيا تدر نقطة  $\overline{أ}$  الثابتة

مثلا إذا اشربنا بمستقيم  $\overline{أب}$  لجزار مربوط به فرس يسحب على  $\overline{ح}$   
فان تأثير الفرس الواقع على نقطة  $\overline{أ}$  يكون واحدا في سائر قط الدائرة التي  
يقطعها  $\overline{أب}$  مادام بعد  $\overline{أ}$  عن  $\overline{ب}$  ثابتا على حالة واحدة

ولنعرض الآن أن قوتين حينما اتفق كعقوى  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  (شكل ٩)  
يكونان واقعيتن على رافعة حينما اتفق كرافعة  $\overline{ب\alpha\theta}$  فحيث أن  $\overline{أ}$  هي  
نقطة الارتكاز ندير  $\overline{أب}$  الى  $\overline{أر}$  بحيث يؤول  $\overline{ب}$  الى  $\overline{ر}$   
الموازي لخط  $\overline{ش}$  ويلزم أن تكون محصلة قوتي  $\overline{ر}$  و  $\overline{ح}$  مارة دائما

بنقطة  $\overline{أ}$  الثابتة ومن هنا يحدث

$$\overline{ر} \times \overline{أ\theta} = \overline{ر} \times \overline{أر} = \overline{ح} \times \overline{أب}$$

وعلى ذلك فلهما كل اتجاهها القوة والمحصلة يلزم دائما أن تكون القوة  
مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز مساوية للمقاومة مضروبة في بعدها  
عن نقطة الارتكاز أيضا

\*(تطبيق ما تقدم على تحويل الحركات)\*

إذا اردت بواسطة الحبال تحويل تحرك الى اتجاهي  $\overline{ب}$  و  $\overline{ش}$   
المتناهيين فانه يستعمل لذلك رافعة منكسرة كرافعة  $\overline{ب\alpha\theta}$   
(شكل ٩) و (شكل ١٠) يربط بها حبلان او ملسلتان او جزيران  
او ملسكان معدينيان مثل  $\overline{ب}$  و  $\overline{ش}$  وتكون نقطة  $\overline{أ}$  التي هي  
رأس زاوية  $\overline{ب\alpha\theta}$  ثابتة على محور صغير تدور حوله الرافعة وهذا النقطة  
هي نقطة ارتكاز الرافعة المذكورة

فإذا اقتضى الحال تحويل تحرّك صغيرة فانه بواسطة شدّ سلك  $\overline{ح}$  (شكل ١٠) تنقل  $\overline{ب}$  الى  $\overline{ر}$  ويكون قوس  $\overline{ب ر}$  مغايرا قليلا لجزء من مستقيم  $\overline{ب ح}$  وبناء على ذلك لا يتغير اتجاه سلك  $\overline{ب ح}$  ولا اتجاه سلك  $\overline{ش ر}$  المشدود بالذراع الثاني من الرافعة كما ان الذراع الاول منها مشدود بالسلك الاول

وهذه هي الكيفية المستعملة في توجيه السلوك المعدنية الواصلة من الجرس الموضوع بقرب الاماكن التي يكون فيها الخدم الى المكان الذي يكون فيه المنادى وتستعمل السلوك والرافعة المنكسرة في الآلات الكبيرة لاجل تحويل التحرّك المتردة

ولنفرض أن المطلوب في مجرى المكبس رفع مكبس  $\overline{م م}$  (شكل ١٢) ونخفضه بواسطة قوة اتيّة نشدّه في اتجاه  $\overline{ب ح}$  فن البديهي انه اذا شدّ سلك  $\overline{ب ح}$  في جهة السهم بواسطة الرافعة القائمة الزاوية وهي  $\overline{ب ا ث}$  يرتفع ذراع رافعة  $\overline{ا ث}$  ويرفع مكبس  $\overline{م}$  واذا اريد أن  $\overline{ش ط}$  الذي هو ساق المكبس يكون دائما على رأسي واحذرنا أن يكون دائما مماسا قوس  $\overline{ش ت}$  الصلب المرسوم من نقطة  $\overline{آ}$  المأخوذة مركزا

فاذا اقلتنا سلك  $\overline{ب ح}$  فان ثقل المكبس يوصل الرافعة الى وضعها الاصلى ثم يأخذ هذا السلك في التأخير ثانيا لاجل رفع المكبس وقد تطلق التحرّكات المتردة على التحرّكات التي تحصل بالتعاقب في جهتين ويؤخذ من رجان البندول شاهد عظيم على مثل هذه التحرّكات

وقد طبق عملية الرافعة المنكسرة على النشر تطبيقا مفيدا بواسطة علم الميكانيكا

فيلصق منشار  $\overline{د ض}$  (شكل ١٣ مكرر) من قطعة  $\overline{ل}$  بساق  $\overline{د ث}$  ومن قطعة  $\overline{ث}$  بذراع  $\overline{ث ا}$  من رافعة  $\overline{ث ا ب}$  مع تأثير قوة  $\overline{ح}$  على ساق  $\overline{ب ح}$  غير القابل للاثناء فاذا شدّ  $\overline{ب ح}$  وسم ذراع الرافعة وهو  $\overline{ا ث}$  قوسا وكان المنشار مشدودا من جهة الرافعة



ومع دفع **ب ح** حصل تأخير مضاد وكان المتضاد مقوفا بالرافعة  
ولهذا كان في علم الميكانيكا ما يماثل بين تحريك النشارين (شكل ١٣)  
الذين تكون اعضاؤهما هي **ش ا ب ح** و **ش ا ب ح** و **ش ا ب ح** و **ش ا ب ح**  
رافعتين منكسرتين

ويمكن بواسطة الرافعة توازن القوة الكبيرة مع القوة الصغيرة \* مثلا اذا كانت  
المقاومة اقرب لنقطة الارتكاز من القوة بمائة مرة قطعت بذلك مسافة  
لاتبلغ هذا القدر عند حصول التحرك لزم بمقتضى التعديل أن تكون المقاومة  
أكبر من القوة مائة مرة (فإذا كان حاصل ضرب المقاومة في ذراع رافعتها اقل  
من حاصل ضرب القوة في ذراع رافعتها كان التحرك حاصلًا في جهة القوة  
وكانت الآلة سائرة الى جهة الامام الآن سيعرها يكون بواسطة جزء من  
القوة لم يعدم بالكلية لاجل توازن المقاومة فاذن يلزم طرح هذا الجزء  
في اريد تحصيل جزء القوة الذي لا بد منه في حصول التحرك)

هذا وقد زعم من لا معرفة له بقواعد علم الميكانيكا مستغفرا بهذه النتيجة  
انه يمكن احداث القوة بواسطة الآلات ومقتضاها انه يمكن بواسطة قوة صغيرة  
ابطال مقاومة متوسطة وحفظ ما يبق من القوة الكافية لتحصيل التأثيرات  
العظيمة وذلك لان القوة الصغيرة على زعمه توازن القوة الكبيرة

ويكنى في الوقوف على خطأ هذا القول اعتبار تحريك الرافعة فإذا فرضنا  
ان قوتى **ح** و **ر** (شكل ١٠) متوازيتان بواسطة رافعة **ب ا ش**  
ثم زدنا القوة الاولى عن الثانية قليلا فان التوازن يعدم ويكون التحرك حاصلًا  
حيث ان ذراع الرافعة وهو **ا ب** ياخذ في الدوران في جهة **ب ح**  
الذى هو اتجاه القوة الكبيرة والذراع الآخر وهو **ا ش** يدور في جهة  
**ش ا** المقابلة لهذه القوة المقاومة فيقطعان في وقت ما زاويتين متساويتين  
كزاويتي **ب ا ش** و **ش ا ب** فاذن يكون قوسا **ب ش** و **ش ا**  
الذنان قطعتهما نقطتا **ب** و **ش** متساويين لطول ذراعى الرافعة  
وهما **ا ب** و **ا ش** (ولنفرض أن هذين الذراعين يكونان هودين

على اتجاه القوتين المتقابلتين لهما

لكن حيثان  $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{ا} : \overline{ب}$

يكون  $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{قوس ش} : \overline{قوس ب}$

فعلى ذلك تكون قوتا  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  مناسبتين تناسباً متعاكساً للقوسين اللذين

تقطعهما تقطعا وقوعهما عند فرض اختلال التوازن

وبهذا البرهان يظهر أن القوة الموازنة للمقاومة تكون مجبورة على قطع

قوس كبير بقدر صغرها بالنسبة للمقاومة فيلزم حيثئلاً أن القوة في المسافة

التي قطعها تفقد ما اكتسبته بنفسها لاجل توازن المقاومة فاذن تكون كمية

الحركة المقبسة بمحصل ضرب كل قوة في المسافة المقطوعة واحدة في جهة

المقاومة بدون امكان زيادتها فان هذه القاعدة الشهيرة التي ذكرناها عامة

في جميع الآلات ولا يمكن فيها اصلاً زيادة كمية الحركة فاذن يثبت استحالة

احداث القوة

فاذا اخذنا مئة الحركتين الحادتين من قطبي  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  وجعلناها

وحدة (شكل ١٠) فان مسأقيهما هما  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  بدلان على

سرعتيهما ويطلق اسم السرعة المنبهة على السرعة التي تأخذها  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$

الثان هما تقطعا وقوع القوة والمقاومة اذا اختل التوازن قليلاً جداً على

حين تحفظه ويعبر في الرافعة عن هذا التساوى وهو  $\overline{ح} \times \overline{ب} = \overline{ر}$

$\times \overline{ث}$  بأن يقال في حالة التوازن ان القوة مضروبة في سرعتها المنبهة

تكون مساوية للمقاومة مضروبة في سرعتها المنبهة

واذا فرضنا أن ذراع الرافعة هو  $\overline{اب}$  (شكل ١١) مائل بـ  $\delta$  عن كونه

عموداً على  $\overline{بح}$  الذي هو اتجاه القوة وادنا الرافعة قليلاً بقدر زاوية

$\overline{بام} = \overline{سام}$  وكان  $\overline{ار}$  عموداً على  $\overline{بح}$  الممتد فحيث ان

نصفي القطرين مناسبان للقوسين يحدث هذا تناسب وهو

$\overline{اب} : \overline{ار} :: \overline{بم} : \overline{سم}$

فإذا مددنا من نقطة م مستقيم م ن عودا على ب ح الممتد  
حدث من ذلك مثلثا ب م ن و ا ب - وهما متشابهان حيث ان  
اضلاعهما اعمدة على بعضها ومن ذلك يحدث هذا التناسب وهو  
ا ب : ا - :: ب م : ب ن

وذلك يقتضى أن  $\overline{ب ن} = \overline{ب م}$  وحيث انهما كانت ب الى م  
قطعة وقوة ح على ذراع ا ب فانه عند اختلال التوازن قليلا  
وقياس المسافة التى قطعها قطعة الوقوع على ب م الذى هو اتجاه القوة  
تحدث سرعة واحدة منبهة مقومة على هذا الاتجاه فيتمد يكون التوازن  
حاصلا متى حدثت عن القوة المضروبة فى سرعتها المنبهة القيسة بالوجه المتقدم  
او عن المقاومة المضروبة ايضا فى سرعتها المنبهة القيسة على الوجه المذكور  
حاصل واحد على اى حالة كانت قطعتا وقوع القوة والمقاومة بغرض أن هاتين  
القوتين يديران الرافعة فى جهتين متضادتين

وهذه هى القاعدة الشهيرة المعروفة بقاعدة السرعة المنبهة وليست مختصة  
بالرافعة بل تجرى ايضا فى ماثر الاكوان وجميع ما القوى من التراكيب  
الوهمية وقد بنى المهندس لاغريج الشهير على هذه القاعدة اصول الميكانيكا  
التحليلية التى جمعها فى كتابه الشهير الذى هو من اعظم مؤلفات هذا العالم  
ثم ان محصلة القوتين المتوازيتين على الرافعة اذا انعدمت بنقطة الارتكاز  
تكون مساوية للضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز المذكورة

فاذن يفتى أولا انه متى كانت القوة والمقاومة متوازيتين ومتجهتين فى جهة  
واحدة كان الضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز مساويا لمجموع  
القوة والمقاومة

وثانيا متى كانت القوتان متوترتين فى جهتين متضادتين كان الضغط الحاصل  
من الرافعة على نقطة الارتكاز مساويا لفاضل هاتين القوتين ومنبهما  
الى جهة كبراهما

وعلى ذلك ففي الرافعة التي من النوع الاول (شكل ٥) يكون ضغط  $\overline{ر}$  الحاصل على نقطة الارتكاز مساويا لمجموع القوة والمقاومة وفي الرافعة التي من النوع الثاني (شكل ٦) يكون هذا الضغط مساويا للمقاومة ناقصا القوة ومتجهها الى جهة المقاومة

وفي الرافعة التي من النوع الثالث (شكل ٧) يكون مساويا للقوة ناقصا المقاومة ومتجهها الى جهة القوة فان لم تكن قوتنا  $\overline{ب ح}$  و  $\overline{ش ر}$  متوازيين لزم أن نعد اتجاهيهما حتى يتقاطعا في نقطة  $\overline{د}$  (شكل ١٤) ثم نرسم على مستقيبي  $\overline{ب د}$  و  $\overline{د ش}$  متوازي الاضلاع لقوتَي  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  وهو  $\overline{أ د ش}$  فيكون أولا وتر هذا الشكل مارا بنقطة الارتكاز وهي  $\overline{أ}$  وثانيا يكون هذا الوزر دالا مقدارا واتجاهها على الضغط الحاصل على نقطة الارتكاز

(ولیکن  $\overline{أ د ش}$  هو متوازي الاضلاع الحادث من مد  $\overline{أ ر}$  و  $\overline{أ ش}$  الموازيين لخطي  $\overline{ش ر}$  و  $\overline{ب ح}$  لحين ان مستقيبي  $\overline{أ ب}$  و  $\overline{أ ش}$  عمودان على مستقيبي  $\overline{ب ح}$  و  $\overline{ش ر}$  فان مثلثي  $\overline{أ ب ر}$  و  $\overline{أ ش ر}$  يكونان قائمي الزاوية وزيادة على ذلك يكون كل من زاوية  $\overline{ر}$  من المثلث الاول وزاوية  $\overline{ش}$  من المثلث الثاني مساويا لزاوية  $\overline{ب د ش}$  فتكونان هما ايضا متساويتين فاذن يكون مثلثا  $\overline{أ ب ر}$  و  $\overline{أ ش ر}$  متشابهين ومن ذلك يحدث هذا التناسب وهو

$$\overline{أ ش} : \overline{أ ب} :: \overline{أ ش} : \overline{أ ر}$$

لكن  $\overline{أ ش} = \overline{د ر}$  و  $\overline{أ ر} = \overline{د ش}$  فيحدث من متوازي الاضلاع لتقوى هذا التناسب وهو

$$\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{د ر} : \overline{د ش}$$

فاذن يكون  $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{أ ش} : \overline{أ ر} :: \overline{أ ش} : \overline{أ ب}$

$$\overline{ح} \times \overline{أ ب} = \overline{أ ش} \times \overline{أ ر}$$

وحيث تكون نقطة  $\overline{أ}$  المأخوذة في النقطة التي يتقاطع فيها وتر متوازي

الاضلاع القوي مع رافعة ب آ ث هي في الحقيقة نقطة الارتكاز وقائدة ذلك الظهار الاتحاديين امرين متباينين

فانما كان هناك عددا من التمدد مثل ح و خ و ر و ض و ط  
(شكل ١٥) الواقعة على رافعة ث ب ا د ه فنزلنا اعمدة

ا ح و ا غ و ا ر الخ على اتجاه كل من هذه القوى ثم اخذنا  
أولا لمقادير القوى التي تدير الرافعة في جهة مجموع حواصل ضرب كل  
قوة في ذراع رافعتها ونأيا مجموع الحواصل المقابلة لمقادير سائر القوى  
التي تكاد تدير الرافعة في جهة مضادة للمتقدمة كان التوازن حاصل  
اذا كان هذان المجموعان متساويين وحيث يعلم شرط التوازن من هذا  
التساوي وهو

$$ح \times ا ح + خ \times ا غ = ر \times ا ر + ض \times ض ضه الخ$$
  
وحيث انهنالك كلام تفصيلا على ما يتعلق بنظري الرافعة حق  
أن تتكلم على ما يتعلق بذلك من الاحوال المخصوصة الاصلية وعلياتها  
فنقول

\*(بيان الرافعة التي من النوع الاول)\*

الرافعة البسيطة المنتظمة هي ما كان ذراعها متساويين والتوازن فيها  
مستلزما لتساوي القوة والمقاومة ايضا ومن هذا النوع الميزان

فهو كما في شكل ١٦ كناية عن رافعة ذراعها هما أ ب و آ ث  
متساويان ويعرف بقب الميزان ونقطة ارتكازها وهي آ محمولة على لسان  
ل م ه وعلى هذا اللسان محور ل ا ه الافقي الذي يمكن أن يدور حوله قب  
الميزان وفي كلتا نهايتي هذا القب كفتان مستديرتان (شكل ١٦)  
او مربعتان (شكل ١٧) مربوطتان بسلاسل او خيوط ولا بد أن يكون نقل  
الكفتين واحدا وأن تكونا متشابهتين وابعادهما واحدة وخيوطهما متساوية  
ومحور قائلهما ما راكز قائلهما وأن يكون الوضع الاصل لتوازنهما هو الوضع

الذي يكون فيه هذا المحور رأسيا بحيث اذا وضع في مركز ثقل الكفتين شيء  
يراد وزنه تكون هاتان الكفتان باقيتين على وضعهما الاصلى ولا يكون الشيء  
الموزون عرضة للسقوط بسبب ميل احدى الكفتين من جهة اكثر من الاخرى  
فيوضع في احدى الكفتين ثقل  $\overline{ح}$  الذي هو كناية عن قوة  $\overline{ح}$  وفي الثانية  
الشيء المطلوب وزنه الذي هو كناية عن مقاومة  $\overline{ر}$  فهي كانت هاتان  
القوتان متساويتين وكان قب الميزان اتصيا فان شرط التوازن يكون

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

فاذا لم يكن  $\overline{أب}$  مساويا  $\overline{أث}$  بل كان اصغر منه لزم أن تكون  $\overline{ح}$   
اكبر من  $\overline{ر}$  ليكون الحاصلان باقيين على تساويهما فعلى ذلك اذا كان  
ذراعا الميزان غير متساويين ووضعت الصنجة في جهة اصغرهما فانه يوازنها  
من البضاعة ما يكون دونها في الثقل وهذا ما يسلكه اهل الفس المحسرون  
في موازينهم الفاسدة فاذا اردت اظهار غشهم فضع الصنجة موضع البضاعة  
الموزونة وهي موضع الصنجة بحيث ان القوة الصغيرة في نهاية الذراع الصغير  
من الرافعة يتعدم التوازن بين الصنجة والموزون

وقد استعملوا في كثير من القنون والتجارب التي عملها الكيماويون  
والطبيعيون والمهندسون كيفية لاتعلق بضبط الميزان في شيء حيث يضعون  
في احدى الكفتين جسم  $\overline{ر}$  الذي يراد وزنه وفي الكفة صنج  $\overline{ح}$  التي توازنه  
ثم يرفعون ذلك الجسم ويضعون بدله اشيا جديدة تتجمع حتى توازن الصنج  
المدكورة بجسم  $\overline{ر}$  فهذه الاثقال الجديدة تدل ضرورة بمجموعها على ثقل  
جسم  $\overline{ر}$  مع الضبط

ولاجل اختبار ما يتعلق بالميزان اختصارا تاما يلزم اعتبار ثقل الكفتين وقب  
الميزان ولا بد من وجود التوازن من مبداء الامر قبل وضع اي ثقل في الكفتين  
ولا بد ايضا أن يكون ذراعا الرافعة متصدين في الثقل والطول وأن يكون مركزا  
ثقلهما على بعد واحد من المستقيم الرأسي الممتد من نقطة الارتكاز ومن  
محور قب الميزان

فإذا كان أب و ا ذراع الميزان و غ و ش مركزي قلهما  
 يلزم أن يكون س الذي هو ثقل ذراع أب المصوري غ متوازنا  
 مع ص الذي هو ثقل ذراع ا المصوري ش فاذن يكون  

$$س \times ا \times غ = ص \times ش$$

وإذا كان غ و ش نقطة الارتكاز وهي ا على مستقيم واحد  
 كان التوازن حاصلًا دائمًا على أي حال كان ميل الرافعة وفي هذه الصورة  
 لا يأخذ الميزان وضعًا مخصوصًا إلا إذا وضع فيه انقال اجنبية وبالجملة فاذن  
 زيادة في الثقل تجذب أحد ذراعي الميزان إلى أسفل ويحصل من ذلك تحرك  
 غير محدود

ويبقى مزيد الاهتمام بجعل مركزي غ و ش اخفض قليلا من نقطة  
 الارتكاز (شكل ١٨) لكن بشرط أن يكونا في ارتفاع واحد إذا كان  
 ذراع أب و ا اثنين فإذا اختلف التوازن حيث قل قليلا بهبوط  
أب مثلا (شكل ١٩) و دفع ا فان مستقيم ا ش يقرب

من الافق بخلاف ا غ فانه يبعد عنه أكثر من بعده وهو في وضعه الاول  
 فاذن اذا مددنا مستقيمي س غ و ص ش من الرأسين من

مركزي غ و ش ثم مددنا ايضا خط غ ا ش الافق كان ا ش  
 بالضرورة اكبر من ا غ لكن يكون في هذا الوضع  $س \times ا \times غ$  هو مقدار  
 $س \times ص \times ا$  ش هو مقدار  $ص \times ش$  فاذن يكبر مقدار  
ب ا ش يأخذ ذراع ا ش في الهبوط حتى يصير وضع رافعة  
ب ا ش انقباضا وحيث ان هذا الذراع هبط بسرعة معلومة بسبب ما اكتسبه  
 من التحرك عند وصوله الى الوضع الافق فان هذا التحرك يكون مستمرا ويكون  
ا ش نازلا تحت الافق بخلاف أب فانه يرتفع فوقه فيحصل بذلك  
 ارتجاع يصير مستمرا متى كان لا يحدث عن الاحتكاك او مقاومة الهواء ما يمنع

هذا الاستقرار الا أن تأثيرهاتين المتفاوتتين يوقف الموازين المضبوطة ضبطا تاما بعد عدة رجات طويلة المسافة او قصيرتها لكنها تكون محدودة دائما وليكن  $\bar{O}$  (شكل ١٨ و ١٩) مركز ثقل قب الميزان فإذا كان التوازن مختلفا قليلا فان ثقل  $\bar{S} + \bar{ص}$  يأخذ في توصيل  $\bar{O}$  الى المستقيم الرأسى بواسطة قوة  $= (\bar{S} + \bar{ص})$  مضروبة في قوس  $\bar{م}$  و الذي يقطع مركز  $\bar{O}$  من ابتداء مستقيم  $\bar{أم}$  الرأسى وهو قوس مناسب لبعده  $\bar{أو}$  بالنسبة الى زاوية واحدة

واذا اردت أن تعرف عند عمل الميزان هل مركز ثقل القب قريب او بعيد عن نقطة الارتكاز وهي  $\bar{آ}$  لم أن تعذ في زمن معلوم رجات هذا القب فان كانت بسيطة جدا وصعبة الحصول كان المركز قريبا جدا من نقطة الارتكاز وان كانت سريعة جدا كان الامر بالعكس فيلزم تقريب المركز من نقطة الارتكاز بأن نرفع او ننخفض مركز ثقل قب الميزان وذلك بحذف شئ من جزءه الاسفل او اضافة شئ اليه

وقب الميزان هو بدول مركب تعلم سرعته رجانه ومدتها بالحسابات المذكورة في الدرس السابق متى تعين مقدار انحراف الميزان ووضع مركزه وهو  $\bar{و}$

و ثم طريقة سهلة يعرف بها صحة وضع قب الميزان وهي أن تأخذ لسان  $\bar{أم}$  المثبت في القب تثبيتا جيدا (شكل ١٦ و ١٧) وتجعله عمودا على رافعة  $\bar{ب آ ث}$  فتكون عمالة  $\bar{لم}$  المسكة من نقطة  $\bar{م}$  عند رفع الميزان في وضع رأسى ومتى كان  $\bar{ب آ ث}$  اقريبا كان اللسان العمودى عليه رأبيا وحيث يكتفى لصحة الميزان أن يكون اللسان غير مائل الى جهة اليمين ولا الى جهة الشمال عند خلقه ثقل الميزان او عند وضع الصنج في احدهما والشئ المراد وزنه في الاخرى

هذا ومقتضى ما ذكرناه من التفاصيل أن الآلات البسيطة لا يمكن أن تبلغ في الصناعة درجة كمال ما لم تعين القوانين الميكانيكية اللازمة لاجزائها المتنوعة لكي تكون تامة الضبط



والقبان كاليزان فهو رافعة من النوع الأول تستعمل لايقاع التوازن بين  
ثقل ايا كان وقوة صغيرة تعرف بالرمانة

فتقرض رافعة مستقيمة كرافعة  $\overline{ب\text{آ}}$  يكون ذراعها الصغير وهو  
 $\overline{آ\text{ث}}$  مأخوذاً وحدة قياس وذراعها الكبير مقسوما الى عدداً من الوحدة  
فبحسب وضع الرمانة المرموز اليها بحرف  $\overline{ح}$  في نقط التقسيم وهي  
١ و ٢ و ٣ و ٤ الخ تكون هذه الرمانة موازنة للثقل المرموز اليه بحرف  
 $\overline{ر}$  فيكون مساوياً لثقلها مرة واحدة او ٢ او ٣ او ٤ الخ

فانما قسمنا كل جزء من اجزاء الذراع المذكور وهو  $\overline{آب}$  المقسوم سابقاً  
الى اجزاء مساوية للذراع الصغير وهو  $\overline{آ\text{ث}}$  تقسيماً ثانوياً بأن قسم كل جزء  
من تلك الاجزاء الى عشرة اجزاء مساوية مثلاً فان كلاً من هذه الاجزاء الثانوية  
يدل في حاصل  $\overline{آب} \times \overline{ح}$  على عشر حاصل  $\overline{آ\text{ث}} \times \overline{ح}$  وذلك  
يستلزم لاجل حصول التوازن أن يزيد ثقل  $\overline{ر}$  زيادة تساوي عشر  $\overline{ح}$   
وكل تقسيم ثانوي مساوٍ لجزء من مائة من  $\overline{آ\text{ث}}$  يدل ايضاً في حاصل  $\overline{ح}$   
 $\times \overline{آب} = \overline{آ\text{ث}} \times \overline{ر}$  على جزء من مائة من  $\overline{ح} \times \overline{آ\text{ث}}$   
فعلى ذلك اذا قسمنا ذراع  $\overline{آب}$  الى احدى عشرات ومائة ونحو ذلك  
فسيتم مضبوطة ما يمكن تعيين مرات احتواء ثقل  $\overline{ر}$  مثلاً على ثقل كثقل  $\overline{ح}$   
وتعيين اعشار هذا الثقل المأخوذ وحدة وكذلك عشر هذا الثقل وواحد  
من مائتيه وهلم جرا

وما ذكرناه في درجات الميزان يمكن اجراء بعضه في القبان فيلزم أولاً أن تكون  
قطعتا الوقوع وهما  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  موجودتين على مستقيم واحد مع نقطة  
الارتكاز وهي  $\overline{آ}$  وثانياً أن مركز ثقل القبان يكون اخفض قليلاً من  
نقطة  $\overline{آ}$  ويكون على خط رأسي مع هذه النقطة اذا كان خط  $\overline{آ\text{ث}}$  اقليماً  
فاذا اقتضى الحال الوقوف على ضبط الوزن بالقبان كان التعويل في ذلك على  
تكرير الوزن بمعنى انه بعد حصول التوازن بين الجسم والرمانة وتعيين النقطة  
التي حصل فيها التوازن نضع محله مضرباً بحد الاربطة ل المعينة بالقبان

فان حصل التوازن كانت الآلة مضبوطة والا فلا وبالجلة ففهما كان خلل الآلة المستعملة فان الصنج التي توضع على الجسم المراد وزنه تقوم مقام زنته حين توازن مع الرمانة والفرق الحاصل بين اوطال الصنج والارطال المعينة بالقبان هو خلل تلك الآلة ولا ينبغي أن استعمال هذه الطريقة يسهل به في كثير من الصور ما صعب من العمليات الثابتة بالتجارب والبراهين ونحو ذلك من اليقينيات

ثم ان القبان من الروافع التي من النوع الأول حيث توازن فيه مقاومة ايا كانت مع قوة اصغر منها وليس هذه الروافع مقصورة على تحصيل التوازن بل نستعمل ايضا في تحصيل التحرك

وذلك كدفة السفن صغيرة كانت او كبيرة فهي مما نحن بصدده فلنفرض رافعة كرافعة  $\theta$  (شكل ٢١) الثابتة من نقطة  $A$  على مؤخر

السفينة يكون احد ذراعيها هو  $AB$  منقسم في الماء والثاني وهو  $AC$  ممسك من نقطة  $C$  بيد الرئيس او غيره ما وبأكمة ميكانيكية حيث ما اتفق

فاذا كانت السفينة ساكنة وكانت دفة  $\theta$  ثابتة موجودة في اتجاه السير فانه لا يعرض لها مقاومة من الماء بخلاف ما اذا دفع الرئيس يد الدفة التي هي

$AC$  الى نقطة  $D$  مثلا فانه يعرض بلجزء الدفة وهو  $AD$  مقاومة  $S$  التي نزداد بازدياد زاوية  $BAD$  وتصل قوة  $S$  المائلة الى قوتين

احدهما قوة  $CE$  التي في جهة  $AD$  ولا تأثير لها الاشد الدفة من جهة طولها لتخلعها من رزاتها والثانية قوة  $CF$  العمودية على  $AD$  التي

تدفع الدفة الى جهة مضادة للسير وبموجب ما سبق في الدرس الخامس يكون لقوة  $S$  تأثيره بدور السفينة ويكون مقدار مساويا  $CE \times CF$

فرض ان  $CE$  هو بعد مركز ثقل السفينة وهو  $CG$  عن اتجاه  $AD$  ولنجعل  $CH$  رمزا الى قوة الرئيس الواقعة على نقطة  $D$  ولنجعل  $D$

رمزا الى مركز وقوع  $CE$  فيصير لاجل توازن الدفة  $CH \times AD = CE \times CF$

## \* (بيان الرافعة التي من النوع الثاني) \*

قد سبق أن المقاومة في الرافعة التي من هذا النوع تكون موجودة بين القوة ونقطة الارتكاز فلا تستعمل هذه الرافعة إلا في الأحوال التي تكون فيها القوة أصغر من المقاومة

ومن هذه الروافع المداوي والمخازيف المستعملة لسير السفن إلى الأمام فتكون القوة واقعة على نقطة  $\overline{ن}$  (شكل ٢١) التي هي مقبض المدة الرموز اليها  $\overline{ن م}$  وشاذة للمقبض المذكور من مؤخر السفينة إلى مقدمها وتكون نقطة الارتكاز وهي  $\overline{م}$  موجودة في الطرف الآخر من المدة وتكون المقاومة حاصلة من السفينة في  $\overline{و}$  التي هي نقطة من نقطة حافة السفينة أما بواسطة ثقب في هذه الحافة أو مسبار رأسى يعرف بالخرطوم ومن البديهي أنه إذا عين مركز مقاومة جزء المدة المنغمس في الماء كانت القوة مضروبة في بعد هذا المركز عن مقبض المدة مساوية للمقاومة مضروبة في بعد المركز المذكور عن النقطة التي تكون فيها المدة مستندة على حافة السفينة لأن هذا المركز يعتبر كنقطة الارتكاز

ويانم تصوير الذراع الصغير ينقل ما حتى تكون الرافعة متوازنة تقريبا على نقطة  $\overline{و}$  التي قلت هي اليها بواسطة السفينة وذلك لئلا يزداد الشغل على الملاح بالانكسار على هذا الذراع لأجل موازنة الذراع الكبير

## \* (بيان الرافعة التي من النوع الثالث) \*

حيث أن القوة في هذه الرافعة موجودة بين نقطة الارتكاز والمقاومة فإنها بالضرورة تكون أكبر من المقاومة فلا تستعمل هذه الرافعة إلا في الأحوال التي تكون فيها القوة أكبر من المقاومة

ومن هذه الروافع الريشة وفرشة الرسم وقلم الجداول فيلزم أن يكون من الريشة وقلم الجداول سريع الحركة لصغر المقاومة التي تعرض له على الورق ومن هنا يعلم الوضع الملائم لأمثال هذه الآلات

ف تكون آ التي هي نقطة ارتكاز ريشة است (شكل ٢٢) موجودة على العقد الاول من السبابة فتكون المقاومة حيثئذ في نقطة ث من الورق الذي تحصل فيه الكتابة التي هي تأثير الرافعة وتكون القوة مقسومة بين الابهام والسبابة والوسطى الى م و ه و و فاذا قلبت اليد (شكل ٢٣) لتنظر من الريشة ابصرت م و ه و و التي هي قطع وقوع الاصابع المذكورة وكلما ازدادت قوتها لاعصاب الواقعة على م و ه او و لتنقص في النقطتين الاخرين منها كانت الريشة مدفوعة الى جهات متنوعة فلا يبرسم سائر انواع الحروف والصور

وفي عملية الكتابة شاهدين على التركيب الحقيقي للآلات البسيطة في الظاهر فانك ترى وقت الكتابة الاصبعين الاخيرين من اليد اليمنى مسندا للريشة والساعد الايمن والذراع الايسر مسندا للجسم بتمامه وكل ذراع مع يده يتركب من اثنين وعشرين رافعة من النوع الاول وكل ساق مع رجله يتركب من ثلاث وعشرين رافعة من ذلك النوع

ثم ان ارباب التاكيف الذين لا يرتضون استعمال الآلات المركبة في الفنون ويحترضون على تركها ويميلون الى الاصول الطبيعية يستعملون رافعة اصطناعية متحركة بثلاث قوى متصلة من مجموع تسعين رافعة موجودة في النوع البشري من اصل الخلقة وهذه الرافع يدفعها او يجذبها بالتعاقب ما تقومون طاقته من الاوتار المعروفة بالاعصاب التي منها ما هو مربوط بنقطة الارتكاز من جهة الامام ومنها ما هو مربوط بها من جهة الخلف وحيث كانت كثرة الاوتار والرافع لا توجب اختلالا ولا تعطيل في العمليات التي يباشرها الانسان باعضائه سهل علينا ان نثبت ان هذا التركيب الجيب يلزمه التباهة والاستعداد لاجراء عدة عمليات دقيقة ليست في وسع غيره من سائر الحيوانات التي هي دونه في الاعصاب والرافع بالنظر لتركيبتها

وفي القنون ما هو نظير هذه اذ هو والطبيعية كالروافع والاوراق فان اذرعة  
الاشارات روافع متحركة بواسطة حبال كما أن اذرعة الانسان تتحرك  
بواسطة الاعصاب

فاذا اتفقت الحال فحصل التوازن بين قوة صغيرة ومقاومة كبيرة لزم  
بواسطة استعمال رافعة راحدة وضع نقطة الاوتكاز قريبة جداً من نقطة  
وقوع المقاومة وربما نشأ عن ذلك في كثير من الاحوال موانع قوية تمنع  
من حصول المطلوب مع الصحة والضبط وقد يتدارك هذا الخلل باستعمال  
عدة روافع كالتي في شكل ٢٤ وحيث ان قوة ح رافعة على طرف الذراع  
الاكبر من رافعة ب ا ث فان طرف الذراع الاكبر وهو ر من  
رافعة ثانية كرافعة ش د ه يكون موضوعا على نقطة ث التي هي  
طرف الذراع الاصغر وهو ل من الرافعة الاولى وقس على ذلك رافعة ثالثة  
كرافعة ه غ ش وهكذا

ولتكن س و س و س الخ هي المقاومات الحاصلة على  
ث و ه و ش الخ هي تقاطع الروافع المتوالية ولتكن  
ل و ل و ل الخ هي الاذرعة الكبرى من تلك الروافع و ل و ل  
و ل الخ هي اذرعها الصغرى فيحصل معنا شرط التوازن وهو في الرافعة

$$\text{الاولى} \quad \overline{ل} \times \overline{ح} = \overline{س} \times \overline{ل}$$

$$\text{وفي الثانية} \quad \overline{س} \times \overline{ل} = \overline{س} \times \overline{ل}$$

$$\text{وفي الثالثة} \quad \overline{س} \times \overline{ل} = \overline{س} \times \overline{ل}$$

فاذا ضربنا أولاً الحدود الاول من هذه المعادلات في بعضها ثم الحدود  
الثواني كذلك وطرحنا من الحاصلين الكميات المشتركة وهي س و س  
و س الخ فحيث ان ر هي القوة الاخيرة اي المقاومة يكون شرط

التوازن على وجه الاختصار هو

$$\overline{ح} \times \overline{ن} \times \overline{ن} \times \overline{ن} = \overline{ر} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل}$$

اعني أن القوة مضروبة في الأذعة الكبرى من الرافعة تساوي المقاومة مضروبة في الأذعة الصغرى منها

ولنفرض مثلاً أن الذراع الأكبر من الروافع يساوي الذراع الأصغر عشر مرات فإذا اخذنا بالتوالي رافعة واحدة أو ٢ أو ٣ أو ٤ الخ ظهر أن المقاومة مساوية للقوة مضروبة في ١٠ أو ١٠٠ أو ١٠٠٠ أو ١٠٠٠٠ الخ وعلى ذلك فيمكن في حصول التوازن بين قوة ومقاومة أكبر منها عشرة آلاف مرة أربع روافع تكون فيها نقطة الارتكاز أقرب إلى المقاومة من القوة عشر مرات فقط

وفي اسكناة يستعملون عدة روافع كالمقدمة في (شكل ٢٤) في قياس قوة القن المتخذ من الحديد

وتستعمل أيضاً الروافع المتقدمة اجتمعاً لا بدعاً في اثبات ما يكون للعضبان المعدنية من الامتداد عند تعرضها للحرارة وهذا الامتداد الدقيق جداً الذي لا يدركه النظر يلزم ضربه في عشرة آلاف مع الروافع الأربع المذكورة إذا كان الذراع الأكبر من الرافعة الأخيرة عترب مينا لأنه يكون حينئذ سريع الحركة فيكون اذن بواسطة تقسيم القوس الذي يقطعه هذا العترب الحكم على ما يكون للعضيب المعدني من الامتداد وبهذه الكيفية يمكن أن نعين مع الضبط نسب امتداد الحديد والصلب والنحاس وهي نسب يستفيد منها الساعاتية وتعود عليهم بالمنفعة

(راجع بدولات التعديل المتقدمة في الدرس السابع)

\*(الدرس التاسع)\*

\*(في بيان البكرات والملقات)\*

البكرة من حيث هي (شكل ١) تتركب من ثلاثة اجزاء احدها قرص مستدير

محيطه فلم يزل يعميق من سائر جهاته لاجل ادخال الجبل وثانيها محور يدور عليه القرص وثالثها حاملة لفخالة أ ب ش د مثله في جسم يوجد به ثقب م ن الذي يدور فيه القرص وفيه ثقب آخر وهو ط ز مستدير عمودي على م ن المار كور معدل لدخول محور البكرة فيه

وفي البكرة الثابتة (شكل ٢) تكون الحاملة ثابتة ومربوطة بنقطة ثابتة فرضا او تحقيقا كنقطة س وكذلك يلزم أن يكون المحور ثابتا والافلا بد من أن يكون بعده عن نقطة س لا يتغير وأن تكون قوة ح مؤثرة في احد طرفي ح أ م ب خ ومقاومة خ ثابتة في الطرف الآخر منه فاذا اثرت القوة في المقاومة فانها تشد الجبل حتى يظهر منه جزءان مستقيمان بجزئي أ ح و ب خ احدهما هو أ ح واصل من البكرة الى القوة والاخر من البكرة الى المقاومة ويظهر منه ايضا جزء على صورة منحنى أ م ب يلتف على محيط حلق البكرة وهو اقصر خط يمكن رسمه بين نقطتي أ و ب على سطح هذا الحلق وقد سبق ابضاح خواص هذا السطح في الدرس الخامس عشر من الجزء الاول من هذا الكتاب

فاذا كانت قوتا ح و خ في مستور رأسي كان هذا المستوى ايضا مستويا لمنحنى أ م ب ولا يمكن أن تكون هاتان القوتان متوازيتين بالنسبة لنقطة س الثابتة الا في صورة ما اذا كانت النقطة موجودة في مستوى القوة والمقاومة الرأسية

وكان البكرة الثابتة تستعمل في رفع الدلاء من الآبار وكذلك فيما يستخرج من المعادن تستعمل ايضا في تحصيل القوة والمقاومة ونقطة الارتكاز الموضوعه كليهما في مستور رأسي واحد يتجه عليه طرف الجبل المرموز اليه بـ م ن ب خ مربوط بالمقاومة التي هي كما يتعن محل معلق بجبل ب خ يراد وضعه -

وفي الصورة المستتاة اذا لم يكن  $\overline{أ ح}$  وهو اتجاه جزء الحبل المربوط فيه القوة رأسياً يكون ذلك الحبل على صورة منحن يعرف بالسلسلة كما تقدم وقد سبق ايضاح خواصها في الدرس السادس من هذا الجزء

وحيث ان الحبل فيما عدا هذه الصورة يكون ملفوقاً على حلق البكرة فلا بد أن تكون شروط توازن هذا الحبل هي عين الشروط المذكورة في الدرس الرابع المقصود لتوازن الحبل المنقح على السطح والمشدود من طرفيه بالقوى فعلى ذلك

يكون الشد الحاصل للحبل المذكور في جميع قطعه هي  $\overline{أ}$  و  $\overline{م}$  و  $\overline{ب}$  التي على محيط البكرة باقياً على حالة واحدة فاذا كانت القوة حيث تقع على نقطة  $\overline{أ}$  مباشرة والمقاومة واقعة على نقطة  $\overline{ب}$  مباشرة ايضاً لم أن تكون هاتان القوتان متساويتين مهما كان اتجاههما

فاذا لم تكن القوتان المذكورتان واقعيتين مباشرة على هاتين النقطتين بل كانتا واقعيتين على بعد واحد من بعضهما وقطعنا النظر عن قتل الحبل لزم أن تكونا متساويتين ايضاً بخلاف ما اذا لم تقطع النظر عنه بل اعتناء من جهة الى القوة ومن اخرى الى المقاومة فيلزم أن يكون المجموعان متساويين ليكون التوازن حاصل حول محور البكرة

وهذا مما لا بد منه في رفع الاحمال الى ارتفاعات عظيمة وكلما ازداد ثأر القوة هبطت مع الحبل الذي تشده واكتسبت من ثقله جزءاً مساوياً بالضبط للجزء المطروح من جهة المقاومة وبناء على ذلك اذا كبرت القوة فأنها تحدث للمقاومة تحركاً الى اعلى يعظم شيئاً فشيئاً حتى يكون خطراً

ولا جل فحصيل فاضل واحد بين القوة والمقاومة نستعمل سلسلة تعديل

كسلسلة  $\overline{خ ن و}$  المربوط بها حمل  $\overline{خ}$  المطلوب رفعه رأسياً ولنترض أن هذه السلسلة والحبل المربوط به القوة والمقاومة متساويان في الطول الا أن السلسلة تكون مضغفة في النقل فاذا شدت قوة  $\overline{ح}$  الحبل



حق قلته الى  $\overline{خ}$  فان جزء  $\overline{اب}$  يزداد بقدر  $\overline{ح خ}$  وجزء  $\overline{ب خ}$   
 ينقص بقدر  $\overline{خ خ}$  وذلك ناشئ عن عدم نقصان شيء من مقاومة  $\overline{خ}$   
 وعن اكتساب قوة  $\overline{ح}$  ضعف ثقل جزء  $\overline{ح ب}$   $\overline{ح خ}$  وحيث ان مقاومة  
 $\overline{خ}$  المذكورة ارتفعت بقدر  $\overline{خ خ} = \overline{ح خ}$  فان جزء سلسلة التعديل  
 وهو  $\overline{ن ن}$  الموضوع على سطح افقي يرتفع وبصيرر أسيا ويثقل من  
 جهة المقاومة لكن حيث كان  $\overline{ن ن}$  مساويا في الطول لكل من  
 $\overline{ح ح}$  و  $\overline{خ خ}$  كان ضعف كل منهما في الثقل فاذا نكسب قوة  $\overline{ح}$   
 من جهة ضعف ثقل  $\overline{ح ح}$  ونكسب مقاومة  $\overline{خ}$  من جهة اخرى  
 ضعف هذا الثقل وبناء على ذلك يكون دائما بين القوة والمقاومة فاضل واحد  
 وذلك نتيجة مهمة في كثير من الصور

فانما كان جلا  $\overline{ا ح}$  و  $\overline{ب خ}$  (شكل ٢) متوازيين كانت محصلة  
 قوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  التساويتين موازية لاتجاهي  $\overline{ا ح}$  و  $\overline{ب خ}$   
 ومارة بمحور القرص ولذا لم تكن قوتا  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  المذكورتان  
 (شكل ٤) متوازيتين لزم أن تكون محصلتهما مارة دائما بمحور القرص  
 وهو  $\overline{ث}$  وبصلة التعليق وهي  $\overline{س}$  ولا يمنع ذلك من بقاء هاتين القوتين  
 على التساوي واذا مددنا اتجاهي  $\overline{ا ح}$  و  $\overline{ب خ}$  حتى تقاطعا في نقطة  
 $\overline{د}$  لزم أن تكون قط  $\overline{ث}$  و  $\overline{س}$  و  $\overline{د}$  الثلاثة على مستقيم واحد  
 ويصدق من هذا المستقيم مع  $\overline{ا ح}$  و  $\overline{ب خ}$  اللذين هما اتجاهاهما القوة  
 والمقاومة زاوية واحدة

وإذا اريد معرفة الضغط الحاصل من قوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  على  $\overline{ث}$  الذي هو محور القرص فالتابعين محصلة  $\overline{دش}$  من متوازي الاضلاع وهو  $\overline{دهش ف}$  الذي يدل ضلعا على التساويان وهما  $\overline{ده}$  و  $\overline{دو}$  على القوة والمقاومة وذلك أن وتر  $\overline{دش}$  هو محصلة القوتين المتجهتين على  $\overline{دس ث}$  اعني الضغط الحاصل على محور القرص وبإضافة هذا الضغط الى ثقل البكرة ينشأ الجهد الكلي الواقع على نقطة الارتكاز وهي  $\overline{س}$

وحين كانت القوة في البكرة الثابتة مساوية دائما للمقاومة كان لا يمكن استعمال هذه الآلة الا في تحويل قوة من اتجاه الى آخر بدون أن يتغير مقدارها ولذا كانت البكرات المستعملة في ذلك تسمى باسم بلايها وهو بكرات الرد لان الغرض منها ليس الازد القوتين من اتجاه الى آخر

فإذا لم تكن قوتا  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  متساويتين فان صغرها تعدم من كبرهما جزأ بقدرها ويترك حينئذ قرص البكرة في جهة كبرهما بغاضل القوتين غير أن الضغط الحاصل من القرص او المحور على الجسم لا يكون مساويا للمحصلة قوتين مفروض مساواة كل منهما للقوة الصغرى وعلى ذلك فيمكن أن يكون تحرك البكرة بطيئا جدا وان كان الضغط الحاصل على المحور عظيما جدا ويكفي لذلك أن تكون القوة والمقاومة كبيرتين جدا ~~لا يمكن~~ يكون بينهما اختلاف قليل وهذه هي قاعدة الآلة التي اخترعها المهندس أوود لينبت بالتجربة قوانين سقوط الاجسام التي تقدم ذكرها في الدرس الثاني من هذا الجزء

ولتد نصق قطر  $\overline{ث أ}$  و  $\overline{ث ب}$  (شكل ٤) عمودين على اتجاهي  $\overline{ا ح}$  و  $\overline{ب خ}$  فيكون مستقيم  $\overline{ا ب}$  عمودا على  $\overline{ث ش د}$

الذي يقسم زاوية  $\overline{ا ب ب}$  الى جزئين متساويين فاذن تكون اضلاع  
مثلثي  $\overline{د ه ش}$  و  $\overline{ا ب ب}$  متقابلة وعمودية على بعضهما ومن ذلك  
يحدث هذا التناسب وهو

$\overline{ح} = \overline{خ} : \overline{ر} :: \overline{د ه} = \overline{د ف} : \overline{د ش} :: \overline{ا ب} = \overline{ب ب} : \overline{ا ب}$   
وبناء على ذلك تكون في البكرة الثابتة نسبة القوة المساوية للمقاومة الى  
ضغط  $\overline{ر}$  الحاصل على نقطة الارتكاز كنسبة نصف قطر القرص الى وتر  
 $\overline{ا ب}$  الحاصر لقرص  $\overline{ا ب}$  المحاط بجزء من الحبل المقوف على القرص

\* (يان البكر المتحرك) \*

اذا ابدلنا في البكر الثابت (شكل ٢ و ٤) النقطة الثابتة بقوة  $\overline{ر}$   
المساوية للعهد الحادث على هذه النقطة من تأثير  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  كان التوازن  
باقيا على حاله بين القوى الثلاثة وهي  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  و  $\overline{ر}$  وانما يتغير البكر  
الثابت بالبكر المتحرك (شكل ٣ و ٥) فيحدث اذن في البكر المتحرك  
من قوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  الواقعتين على طرفي الحبل المار بالقرص ومن قوة  
 $\overline{ر}$  الواقعة على المحالة هذان التناسبان وهما

$$\overline{ح} = \overline{خ} : \overline{ر} :: \overline{د ه} = \overline{د ف} : \overline{د ش}$$

$$\text{و } \overline{ح} = \overline{خ} : \overline{ر} :: \overline{ش ا} = \overline{ب ب} : \overline{ا ب}$$

وتبدل في العادة قوتي  $\overline{ح} = \overline{خ}$  بنقطة ثابتة كنقطة  $\overline{خ}$  فتبقى  
حيث تزداد قوة  $\overline{ح}$  في موازنة مقاومة  $\overline{ر}$  وقد يعبر عن التناسب الاخير بهذه العبارة  
فيقال

ان نسبة القوة الى المقاومة في البكر المتحرك كنسبة نصف قطر القرص الى

الوزن الحاصر لقوس  $\overline{AB}$  المحاط بجزء من الحبل الملقوف على القرص  
ولهذه النسبة فائدة وهي أنه بموجبها يستغنى عن تركيب متوازي  
الاضلاع للقوى لأنها تتعلق بأصول هندسية مستعملة كثيرا ومعلومة  
الحساب في جداول مطبوعة تعرف باسم الجداول اللوغاريتمية والجيئية

ومنى كنت قوتا  $\overline{H}$  و  $\overline{X}$  متجهتين بالتوازي (شكل ٤) لزم  
أن تكون مقاومة  $\overline{R}$  متجهة مثلها وازيادة على ذلك تكون مساوية  
لجمعهما وهو  $\overline{H} + \overline{X}$  وهذا هو اعظم تأثير يمكن حصوله من هاتين  
القوتين بواسطة البكرة المتحركة لاجل شد الجملة

وكما كانت الزاوية الحادثة من اتجاهي  $\overline{AH}$  و  $\overline{BX}$  (شكل ٥)  
منفرجة تقص وز  $\overline{R}$  ولزم أن تكون مقاومة  $\overline{R}$  صغيرة اذا كانت  
قوة  $\overline{H} = \overline{X}$  محدودة ولزم ايضا أن تكون قوة  $\overline{H}$  كبيرة اذا كانت  
 $\overline{R}$  محدودة

وقد سبق أنه يلزم عوضا عن استعمال قوتي  $\overline{H}$  و  $\overline{X}$  لتوازن  
مع قوة ثالثة كقوة  $\overline{R}$  (شكل ٣ و ٥) أن نربط غالبا بالاحد حبل  
 $\overline{AH}$  او  $\overline{BX}$  في نقطة ثابتة تكون مقابلة لبعد الذي تحمله قوة  $\overline{X}$   
التي يمكن توفيرها

مثلا في صورة ما اذا كان الحبلان متوازيين (شكل ٣) تكون قوتا  
 $\overline{H}$  و  $\overline{X}$  متساويتين فيمكن في حصول التوازن بين قوة  $\overline{R} = \overline{H}$   
 $+ \overline{X} = 2\overline{H}$  أن نستعمل قوة  $\overline{H}$  وحدها فيتوفر حينئذ  
النصف من استعمال القوة في تحصيل التوازن وهذا كما رأيت في تحصيل

التوازن دون في حصيل الحركة لان حصيل الحركة لا يفرقه

ولنفرض حيث في زمن معلوم أن قطعة  $\overline{خ}$  تكون باقية على ثباتها  
وأن قطعة  $\overline{ح}$  تسير بدركية  $\overline{ح}$  فيقتل قرص البكرة من  $\overline{ام ب}$

الى  $\overline{ام}$  ولا يتغير طول الحبل ويلزم أن يكون  $\overline{خ ب م ا ح}$

$= \overline{خ - م ا ح}$  فإذا طر حنا من الحبلين طول  $\overline{ام ب}$  و  $\overline{ام}$

التساويين وطول  $\overline{خ}$  و  $\overline{ح}$  المنتزعين بقي هذا التساوي وهو

$$\overline{ح} = \overline{ا ا} + \overline{ب -} = \overline{ا} \text{ ش}$$

ولكن  $\overline{ش}$  يساوي الكمية التي تقدم بها  $\overline{ر}$  الى  $\overline{ش}$  فإذا لم تكن

قوة  $\overline{ح}$  الا نصف  $\overline{ر}$  لزم أنها تقطع ضعف المسافة التي تقطعها  $\overline{ر}$

وحيث اذا ضربنا كتلتها بين القوتين في المسافة التي تقطعها في زمن معلوم

كان الحاصل واحدا وهو

$$\overline{ح} \times \overline{ح} = \overline{ر} \times \overline{ر}$$

ثم ان مسافتى  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  الصغيرتين يدلان على سرعتين المتهبتين

لقوى  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  وما ذكرناه من التساوي يتضمن قاعدة تتعلق بالسرعة

المتهبة وهي جارية في سائر الآلات بسيطة كانت او مركبة وفي جميع ذلك

ترى أنه اذا امكن بواسطة قطع الارتكاز حصول التوازن بين القوى الكبيرة

والقوى الصغيرة عند وجود الحركة فان التعديل الحاصل بين القوى

والمسافات المقطوعة يكون على وجه بحيث لا ترد اية كيات الحركة اصلا

وفي الغالب تختلط البكرة الثابتة بالبكرة المتحركة كما ترا في شكل ٦

وبهذه الكيفية تعلق المصاييح المعدة للتنوير

وحبل  $\overline{ح ا ح ا ب خ}$  يمر حول بكرة  $\overline{ا ش}$  الثابتة ثم يمر حول

بكرة  $\overline{أب}$  المتحركة التي يعلق بها ثقل  $\overline{ر}$  ثم يربط في نقطة  $\overline{خ}$  الثابتة

وليكن  $\overline{ح}$  هو السند والجهد الحاصل للثقل المسند وبقوة  $\overline{ح}$  فلاجل أن يكون توازن البكر الثابت باقيا على حالة واحدة يلزم أن يكون  $\overline{ح} = \overline{ح}$  ثم لاجل بقاء توازن البكرة المتحركة على حالة واحدة يلزم عند متوتر  $\overline{أب}$  في القوس من تقطع  $\overline{أ}$  و  $\overline{ب}$  اللتين يتقطع فيهما مس الجبل لهذا القوس تحصيل هذا التناسب وهو

$$\overline{ح} = \overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{أث} : \overline{أب}$$

وهو شرط بسيط

فإذا فرضنا (شكل ٧) أن هناك عدة بكرات متحركة مختلطة ببعضها

كان أولا جبل البكرة الأولى وهو  $\overline{خ}$   $\overline{أب}$   $\overline{ح}$  ثم يربط في نقطة  $\overline{خ}$  الثابتة وفي نقطة  $\overline{ث}$  التي هي مركز البكرة الثانية وثانياً يكون جبل البكرة

الثانية وهو  $\overline{خ}$   $\overline{أب}$   $\overline{ح}$  ثم يربط في نقطة  $\overline{خ}$  الثابتة وفي نقطة  $\overline{ث}$  التي هي مركز البكرة الثالثة وهم جترأ

فإذا كانت  $\overline{ح}$  و  $\overline{ح}$  و  $\overline{ح}$  الخ هي السند والجهد الحاصل من حبال  $\overline{ب ح}$  و  $\overline{ب ح}$  و  $\overline{ب ح}$  الخ حدثت هذه المعادلات وهي

$$\frac{\overline{أب}}{\overline{أث}} = \frac{\overline{ر}}{\overline{ح}}$$

$$\frac{\overline{أث}}{\overline{أث}} = \frac{\overline{ح}}{\overline{ح}}$$

$$\frac{\text{أب}}{\text{أث}} = \frac{\text{ح}}{\text{خ}}$$

فأذن يكون

$$\frac{\text{أب} \times \text{أب} \times \text{أب} \times \text{أب} \times \text{أب}}{\text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث}} = \frac{\text{ح}}{\text{خ}} \times \frac{\text{ح}}{\text{خ}} \times \frac{\text{ح}}{\text{خ}} \times \frac{\text{ح}}{\text{خ}} \times \frac{\text{ح}}{\text{خ}}$$

ولنبه على أنه إذا قسمنا  $\overline{\text{ر}}$  على  $\overline{\text{ح}}$  ثم ضربنا خارج القسمة في  $\overline{\text{ح}}$  فحصل معنا عدد  $\overline{\text{ر}}$  وإذا قسمنا هذا العدد على  $\overline{\text{ح}}$  و  $\overline{\text{ح}}$  ثم ضربناه في  $\overline{\text{ح}}$  و  $\overline{\text{ح}}$  فحصل معنا هذا العدد بعينه فأذن لا يبق معنا إلا كون مقاومة  $\overline{\text{ر}}$  المقسومة على القوة الأخيرة وهي  $\overline{\text{ح}}$  تساوى حاصل ضرب سائر النسب في بعضها وهي

$$\frac{\text{أب}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أب}}{\text{أث}}$$

وهذه الحسابات كما ترى مختصرة جدًا فإذا كان وضع البكرات معلوما كانت

$$\text{نسب } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ و } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ و } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ الخ معلومة أيضا ويمكن حينئذ أن نعين}$$

القوة التي لا بد منها في موازنة مقاومة معلومة والمقاومة التي لا بد منها في موازنة قوة معينة

ومنى قلت سائر القوى متوازية (شكل ٨) كانت جبال  $\overline{\text{أب}}$

و  $\overline{\text{أب}}$  و  $\overline{\text{أب}}$  الخ اقطارا لأقراص  $\overline{\text{أبث}}$  و  $\overline{\text{أبث}}$

و أثبت الخ في ذلك تكون هذه الجبال ضعف انصاف اقطار

ا ح و ا ح و ا ح فاذن تكون  $\frac{2}{3} = 2 \times 2 \times 2$  الخ

بمعنى ان عامل ٢ يتكرر بقدر ما يوجد من البكرات المتحركة  
فاذا بحثنا في حالة الحركة عن نسبة المسافات التي قطعها القوة والمقاومة  
وجدنا المسافة التي قطعها مقاومة ر نصف المسافة التي قطعها  
قوة ح وهي على النصف من المسافة التي قطعها قوة ح وهي ايضا على  
النصف من المسافة التي قطعها قوة ح وهكذا وحيث تكون نسبة مسافتي  
هـ و هـ التين قطعهما قوة ح ٢ ومقاومة ر هي

$$\frac{5}{هـ} = \frac{1}{ر} \times \frac{1}{ر} \times \frac{1}{ر} \times 2 \text{ الخ}$$

وهذه الانصاف تتكرر بقدر ما يوجد من العوامل التي هي

$$\frac{2}{3} = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \text{ الخ}$$

وهذه هي النسبة الحاصلة بين المقاومة والقوة ثم اذا ضربنا هذين المقدارين  
في بعضهما حدث

$$\frac{5 \times 2}{هـ \times 2} = \frac{1}{ر} \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \text{ الخ بقدر ما يوجد من البكرات المتحركة}$$

$$1 = \frac{5 \times 2}{هـ \times 2} \text{ حيث } 1 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \text{ الخ}$$

وذلك يقتضي أن مقاومة ر مضروبة في مسافة هـ التي قطعها في زمن ما



تساوى قوة  $\overline{ح ٢}$  مضروبة في مسافة  $\overline{هـ}$  التي يلزم أن تقطعها في الزمن المذكور وعند عروض الاختلال للتوازن على حين غفلة لأجل تحريك الآلة (وهذا من شواهد قاعدة السرعة المنبهة) ويستعمل غالباً في القنون البكرات التي لها حبال متوازية تقريباً وهي عدة أقراص ثابتة مثل ١ و ٢ و ٣ الخ (شكل ٩) و (شكل ١٠) موضوعة على حبال ثابتة وعدة أقراص متحركة مثل ١ و ٢ و ٣ موضوعة على حبال متحركة ومثل هذه الحالات يعرف بالعمارة أو بالثبات

وحيث أن الحبل يمر بالتوالي على ١ و ٢ و ٣ و ٤ و ٥ و ٦

فإذا كانت حبال  $\overline{س ب}$  و  $\overline{ا ب}$  و  $\overline{ب ب}$  و  $\overline{ا ا}$  و  $\overline{ب ب}$  الخ متوازية كان الشد الحادث لكل منها مساوياً للمقاومة مقسومة على عدد

الحبال المذكورة وينبغي أن لا نعد آخر افتراضات حبل  $\overline{ا ح}$  لأنه لما كان تأثيره مقصوراً على البكرات الثابت كان لا يغير التوازن في شيء مما ذكرنا يمكن إبدال  $\overline{ح}$  بمساويتها وهي  $\overline{ح}$  المتجهة على امتداد  $\overline{ب س}$  وحيث

يحتق حبل  $\overline{ا ح}$

وبناء على ذلك ينبغي أن لا نعد من الحبال إلا ما كان مبدؤه البكرات المتحركة مباشرة بمعنى أننا نعد لكل بكر متحركة حبلين إذا كان مبدؤه الحبل الحبال الثابتة (شكل ٩) وحبل واحد إذا كان مبدؤه الحبال المتحركة (شكل ١٠) وهذه الحبال على العموم متوازية تقريباً وبما اعتبرت في العمل متوازية بدون خطأ بين فإذا كان هناك عدد غير محدود من البكرات المتحركة كعدد  $\infty$  فإنه يحصل من الحبال ٢٢ في الصورة الأولى و ٢٢ + ١ في الصورة الثانية وهذه الحبال تكون بالسوية حاملة

الجهد الحادث من محصلة  $\overline{R}$  وكل منها يتحمل  $\frac{R}{2}$  وهو جزء من الجهد

او  $\frac{R}{1+2}$  وهو جزء منه ايضا لكن  $\overline{H} = \overline{H}$  هو شد  $\overline{B}$

فاذن تكون قوة  $\overline{H}$  مساوية لمقاومة  $\overline{R}$  مقسومة على ضعف عدد  
البكرات المتحركة (شكل ٩) وعلى ضعف هذا العدد اذا واحد  
(شكل ١٠)

وفي هذه الصورة كالتى قبلها تسهل البرهنة على أنه اذا تحركت الالة قليلا  
كانت نسبة المسافتين اللتين قطعتهما القوة والمقاومة في زمن واحد كعكس  
نسبة هذه الاعداد

وذلك لانه متى هبط  $\overline{B}$  بكمية ما لزم أن تكون ابعاد  $\overline{B}$  و  $\overline{B}$   
و  $\overline{B}$  الخ و  $\overline{A}$  و  $\overline{A}$  الخ متزايدة على حساب اطوال الالهبوط  
فاذن يكون الطول الكلى للبال من  $\overline{A}$  الى  $\overline{B}$  متزايدا بقدر عدد الجبال  
ويلازم حيثئذ أن يكون جبل  $\overline{A}$  المعلوم هو الذى احدث هذا الطول فتقطع  $\overline{H}$   
مسافة ذلك الطول فعلى ذلك اذا كان  $22$  (شكل ٩) هو عدد الجبال  
فان نسبة مسافة  $\overline{R}$  الى مسافة  $\overline{H}$  الى مسافة  $\overline{H}$  الى  
قطعها  $\overline{H} :: 1 : 22$

لكن  $\overline{R} :: \overline{H} :: 22 : 1$  فاذن تكون قوة  $\overline{R}$  مضروبة  
في المسافة التى قطعها  $\overline{R}$  تساوى قوة  $\overline{H}$  مضروبة في المسافة التى قطعها  
 $\overline{H}$  ويبرهن ايضا على هذه القاعدة بشكل ١٠

وتم نوعان من البكرات المركبة المعروفة عند العامة بالعبارات احدهما  
(شكل ٩ و ١٠) مركب من عدة اقراص بكرات موضوعة على محاور  
متفرقة مارة بجمالة واحدة وثانيهما مركب (شكل ١١ و ١٢) من  
عدة اقراص بكرات موضوعة على محور واحد مارة بجمالة واحدة وهذه

الاقراص متفرقة عن بعضها بفواصل ثابتة معتبرة ~~ك~~ كالجزء من الجملة ولكل من النوعين المذكورين منافع ومضار في النوع الاول تكون اقراص كل عيار في مستوا واحد مع الجبل الذي يمر بالتوالي من عيار الى آخر

وفي النوع الثاني يتغير مستوى هذا الجبل لاجل مروره من عيار الى آخر بحيث ان جميع اجزائه الموجودة في احدى جهتي العيارين وان كانت متوازية لا تكون موازية لجميع اجزائه الموجودة في الجهة الاخرى ولهذا الخلل الناشئ عن التوازي مضرة هي ميل الاقراص بالنسبة لمحاورها وذلك يؤدي الى تغير عينها ووجبات تغيرت المحاور ايضا بسبب زيادة الاحتكاك ولا يكون هذا الضرر ينشأ متى كان العياران على بعد عظيم من بعضهما بالنسبة لتيابعد الاقراص عن بعضها على محور واحد بخلاف ما اذا قربا من بعضهما فان الخلل الناشئ عن التوازي يزداد ويحدث عنه مقاومات غير لائقة

وفي هذه الصورة تكون منفعة الاقراص الموضوعة على محور واحد دون منفعة الاقراص الموضوعة في حالة واحدة على محاور مختلفة ولكن الاقراص في الصورة الثانية تشغل من المحال اكثر مما تشغله في الصورة الاولى فاذا كان المطلوب مثلاً رفع احمال لزم لذلك آله تكون فيما تقطع تعليق العيارين من قطعة عن الحمل الذي يرتفع منه الجبل وهذا الارضاع يكون بالاقل قدر الطول الكلي للعيارين وربما عظم هذا الطول اذا كانت كلتا الجهتين محتوية على ثلاثة اقراص او اربعة وقد يعظم هذا الضرر لاسباب اذا وصلنا الى اعلى طبقات المنزل وكان المطلوب رفع الاجار اليها ~~و~~ وعلى الميكانيكي أن يختار من النوعين ما تقتضيه الاحوال فاذا كان الغرض من العيارات التوصل بها الى ظهور مقاومة كبيرة على قوة صغيرة وغلبتها لها لزم أن يكون لها حبال كبيرة فبذلك تقطع القوة مسافة كبيرة حتى تقطع المقاومة مسافة صغيرة وهذا هو التعديل العام الذي هو كناية عن قاعدة تستنبط من تحرك سائر الآلات

\*( بيان التناقل في البكرات )\*

إذا اعتبرنا البكرات اجساماً ثقيلة نريد تحصيل مقدار الجهد الواقع على نقطة  $\overline{خ}$  الثابتة (شكل ٥) المتعلق بها البكرة المقروضة تحركها في الفراغ بلامعارض فانه يلزم اخذ المحصلة العمومية لقوة  $\overline{ح}$  ومقاومة  $\overline{ر}$  وتقل جبل  $\overline{ح}$   $\overline{ابخ}$  والبكرة بتمامها فاذا كانت  $\overline{م}$  هي ثقل البكرة بتمامها و  $\overline{د}$  ثقل الحبل حدث أربع قوى وهي  $\overline{م}$  و  $\overline{د}$  و  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  تكون محصلتها مساوية ومضادة لمقاومة  $\overline{ر}$  لاجل حصول التوازن

ثم اذا لاحظنا ما يتر حول  $\overline{ث}$  الذي هو محور البكرة وجدنا هذا المحور يتصل أولاً جهده  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  وثانياً ثقل قرص البكرة وثالثاً ثقل حبل  $\overline{ح}$  و  $\overline{ب}$  في صورة ما اذا كانت القوة تؤثر من اعلى الى اسفل كما في شكل ٤؛ وحيث ان كان  $\overline{م}$  هو ثقل القرص الذي يكون مركزه في  $\overline{ث}$  لم أن يكون أقوى  $\overline{م}$  و  $\overline{د}$  و  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  محصلة كلية مارة بمحور  $\overline{ث}$  ومساوية للضغط الحاصل من القرص على المحور

وعما يسهل مشاهدته أن ثقل القرص لا يغير شيئاً من نسب  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  بالنظر للتوازن لكن كلما كان هذا الثقل عظيماً كان متعباً للصورة ونشأ عنه احتكاكاً فيلزم أن يكون ثقل القرص صغيراً مهماً يمكن متى كان الفرض أن البكرة تؤثر تأثيراً عظيماً ما يمكن

واما الحبل (شكل ٤) فانه في صورة ما اذا كان ثقله محمولاً على المحور يكون حمل هذا المحور قليلاً بقدر ما يكون ثقل الحبل خفيفاً

وما ذكرناه في هذا الشأن له أهمية عظيمة في استعمال الحبال والبكرات في جوانب السفن واذا قطعنا النظر عما يتصل من الوفرة العظيم في كمية ما يستعمل من المواد في اقراص البكرات والحبال المارة بها يلزم لقلبة

المقاومة والتطور عليها بقوة اصغر منها أن تكون الحبال والاقرص خفيفة جدا

وإذا كان المطلوب على اقرص معدنية خفيفة جدا لزم مزيد الاهتمام في تجويفها من بين الحلق والمحور بواسطة تصاليب متفرقة كتصاليب عجلات العربات وافرامل رقيقة تجمع بين الحلق ومحور الدولاب كما في شكل ١٣

فإذا تحركت البكرة (شكل ٥) كان الجزء الاول من القوة وهو ح موازاً لساير المقاومات والجزء الثاني منها وهو ح محرراً كالتلبيس والقرص ومقاومة ر بكمية يدل تأثيرها على جميع ما لم تعدمه مقاومات الآلة

ولكن هذه الكمية تقاس أولاً بالمسافة التي قطعها ح وثانياً بمجموع حواصل ضرب ثقل الحبل في المسافة التي قطعها هذا الحبل في جهته طولاً وثالثاً بمجموع حواصل ضرب ثقل كل جزء من القرص في المسافة التي قطعها هذا الجزء بحيث يلائم تعيين هذا الجزء الثالث

وإذا قسمنا القرص الى مناطق متساوية العرض وجدنا تناسباً بالضغط لانصاف اقطارها فإذا قطعنا قرصين متعدي السلك ومختلفي القطر كان حجم كل منهما مناسباً لمربع قطرهما وإذا قسمنا هاتين الهاترتين (اعني القرصين) الى اجزاء صغيرة مجموعها على نسبة واحدة وفي اوضاع متشابهة كان مربع بعد المحور عن الاجزاء المتشابهة الموجودة في القرصين مناسباً لمربع قطرهما فإذا نضرب حاصل ضرب حجم كل جزء في بعده عن المحور مناسباً لمربع القطر مضروباً في القطر نفسه اعني انه يكون مناسباً لمكعب قطر هذين القرصين وعلى ذلك فتكون كمية الثقل الحادثة في كل من القرصين مناسبة لمكعب قطرهما وهذا بالنظر الى سرعتيهما المتزوية فإذا زادت تلك النسبة كثيراً مع قطر القرصين لزم جعل الاقرص في البكرات الكبيرة صغيرة الحجم ما لم يكن وهذه الفاتحة يمكن تحصيلها من استعمال الحبال التي ليس لها بالنظر الى قوة مفروضة الا قطر صغير قليلاً لمزيد جودتها وبالجملة فيمكن أن يكون عزم

القرص اقل من قطر الجبال ثلاثي تلك الجبال من احتكاكها بجوانب الثقب الذي هو محل القرص في صندوق البكرة

فاذا استعملنا من الجبال مالا مقاومة له اصلا عند الانثناء على حلق البكرة فكلما كان قطر القرص صغيرا قل أن توجد قوة معدومة لاجل الظهور على ان يرسى هذا القرص عند تحريك القوة للمقاومة غير أن شد الجبال مقاومة عظيمة يلزم الاهتمام بتقويتها ومعرفة مقدارها

وسياق أن كلب الذي هو من مشاهير علماء الطبيعة عين المقاومة التي تعرض لتحرك البكرات من شد الجبال

ثمان شوحية ١١ (شكل ١٤) تحمل أولا سطح ح ح الكبير بواسطة جبل الاختبار وهو ش ش الذي يدور مرة من جهتي العين والشمال على ملف ب ب المتحرك وتحمل ثانيا سطح غ غ الصغير بواسطة جبل ش ش الصغير الذي يدور مرتين او ثلاثا على ملف ب ب في جهة مقابلة لجهة ش ش ويغني الاهتمام بمنع الجبال عن مماسة بعضها البعض التأثير على وجه سهل

وقد يميل ملف ب ب الى الهبوط بسبب التأثير الناشئ أولا عن ثقله الاصلي مع ذراع رافعة يساوي نصف قطر ذلك الملف وثانيا عن ثقل سطح غ غ مع ذراع رافعة يساوي قطر الملف المذكور فيمكن حينئذ اضافة نصف ثقل الملف الى ثقل حمل غ غ لاجل تحصيل قوة واحدة تؤثر بواسطة ذراع رافعة يساوي قطر الملف فانما كل ثقل الملف كبير اتقص تأثيره بقل ح مربوط في طرف جبل ش ش المار بكرة الرد وهي ر وكل وحدة من ثقل ح توازن وحدتين من ثقل الملف

وقبل اختبار جبل ش ش المراد قياس شدة يرتقى حتى يكون تقريرا كالجبال المستعملة عادة في الآلات ونتر بجبل ش ش من فوق حلق البكرة ونربط في احد طرفيه قلا كافيا ثم يشد اناس طرفه الاخر فيرفعون

هذا الثقل او يخفضونه فبذلك ينزل ما يوجد من الخلال في شد الجبال الجليدية التي تمنع من حصول التسايج المطلوبة

فاذا احتسنا بهذه الاحتراسات في منع الخلال عرفنا ثقل خ الذي لا يتمنه لهبوط ملف ب ب والظفر بمقاومة جبل ث ث ورأينا أنه بواسطة شدة عظمية تكون تقريبا القوة اللازمة لثني الجبال على الاسطوانة المختلفة القطر أولا على نسبة مطردة بالنظر لشدة الجبال ومنعكسة بالنظر لقطر المقاطع وثانيا تكون على نسبة مطردة بالنظر لربع قطر الجبال وهذه النسبة تقرب من الصحة بقدر غلظ الجبال

(والقائمة الحادثة عن شد الجبال مركبة من جزئين احدهما ثابت والاخر اخفى الزيادة بالنسبة للعمل ولا يمكن أن تكون الكمية الثابتة منسوبة الا الى الدرجات المختلفة التي تكون لشد الجبال والتواءها العارض لها عند عملها ويكون كل من فروع الجبل مشدودا بقوة على حدة ومحافظا على درجة شدة عند التواء هذا الجبل لان تلك الفروع المتلاصقة والمتعشقة ببعضها متماسكة بالاحتكاك وعلى ذلك فكل فرع من جبل مربوط به ثقل يكون مشدودا بنسبة تلازم ما يخصه من الثقل وما يعرض له من الالتواء عند ثقل الجبل لكن اذا كانت القوى اللازمة لثني الجبل مناسبة للشدود كانت تلك القوى مناسبة لكمية ثابتة زائدة على الثقل المربوط بالجبل وهذه الكمية الثابتة تتغير مع درجة الشد والالتواء العارضين للجبال عند عملها واما الجبال الجليدية المقنولة ثلاث مرات فتكون فيها ثقل الكمية تابعة مع الضغط الكافي لنسبة مربعة اقطار الجبال فاذا استعملت الجبال زمنا طويلا ارتخيت فروعها وتناقصت فيها الكمية الثابتة الناشئة عن شدتها الاصلية)

واذا قابلنا مقاومات القنن بمقاومات الجبال الصغيرة وجدنا انها اقل مما تدل عليه نسبة المربعات وذلك أن قطر البت المركزي يتزايد في الجبال الغليظة بدون أن تزيد المقاومة بنسبة واحدة عند الالتواء وحيث قد يمكن في القنن الغليظة أن تكون جميع الفروع مشدودة مع للتساوى كالجبال الريفية لان الجبال

المشدودة كثيرا هي التي تقاوم كثيرا بخلاف غيرها من الجبال فانها تلين بمجرد  
ليها من غير جهد

ويلزم تعيين التأثير الذي يعرض لشدة الجبال حين رطوبتها وشم اشغال كثيرة  
لا سيما كان منها متوقفا على شدة الهواء كسفن السفن والامطار وامواج البحر  
وغير ذلك قبل فيها الجبال وتغير طبيعتها بحيث تكون على حالة تباين  
بالكلية حالتها وهي جافة

ويرى بمجرد النظر أن شدة الجبال لا سيما اذا كانت غليظة يزيد زيادة بينة  
معي كانت مبلولة بالماء وترى في شكل ١٤ صورة الآلة التي تدل على أن  
هذه الزيادة تقاس بكمية ثابتة مهما كان الحمل الذي تعمله الجبال

وقد علمت تجارب كلب الاولى في الجبال البيضاء وعلى غير الاولى منها  
في الجبال المطرنة ( اي المدهونة بالمطران ) فوجد أنه يلزم في هذين التوسعين  
مهما كان الشدة إضافة كمية ثابتة الى الجهود التي لا بد منها في ثني الحبل  
المقروص انه ايضا جاف وليس بينهما كبير فرق كما قد يتوهم وذلك لان شدة  
الجبال المطرنة لا يفوق على شدة الجبال البيضاء الاجتهاد  $\frac{1}{4}$

ومثل هذا الفرق مهم جدا لشهرته في العمليات وقد تستعمل الجبال البيضاء  
اذا اقتضى الحال استعمالها في البكرات والطناير ولو كانت بذلك عرضة  
لشدة الهواء فينتج عنها غشائها في القوى المحركة من توفير اجرة الشغالين  
يعادل ما يصرف فيها حين تبلى سريعا

وقد يلبس التعرّية على أن الحبل القديم المطرون يكون شدة كشد الحبل الجديد  
المطرون سريعا ثم وان كانت خيوط القنب يقل اشتدادها عند البلال الا أن  
تعرضها للهواء والمطر يجعلها المطران فيعادل تأثيرها تأثير الحديد

وقد ذكر كلب قواعد حسابية سهلة تتعلق بتطبيق الاستقطب من النتائج  
على تقويم المقاومة وتقديرها عند انثناء الجبال المتنوعة على الاسطوانات  
او البكرات المعلومة الاقطار لكون شدورها معلومة ايضا واذا اردت الوقوف  
على هذا التطبيق فعليك بكتاب هذا العالم الشهير



وقد علمت تجارب الجبال المقطرنة في فصل الشتاء حين كان ترمومتر و يومور  
مرتفعاً عن الانجماد بخمس درجات اوستة فظهر أن الجليد يزيد في شدة هذه  
الجبال لاسباب اذا كانت غليظة القطر وقد علمت ايضا تجربة الجبل المقطرون  
المؤلف من ١٥ فرعا حين كان الترمومتر منخفضاً عن الانجماد باربعة  
درجات فوجد أنه يستلزم قوة أكبر (بمقدار تقريبا) مما اذا كان الترمومتر  
مرتفعاً عن الانجماد بست درجات الا أن هذه الزيادة ليست تابعة لنسبة  
الاحمال لان الجزء الثابت من المقاومة في هذه الصورة هو الذي يزيد زيادة  
بينة

وها هنا ينبغي يتعلق بسائر التجارب السابقة وهو انه متى كانت الجبال مثقلة  
بالحمال وورفع ملف **ب ب** (شكل ١٤) بأن ادبر بقوة الذراع ثم خلى  
وقسه فسقط في الحمال قل شد الجبل بحيث يكون على الثلث مما في تلك  
التجارب وهذا عام في سائر الجبال سواء كانت يضاء او مقطرنة قديمة او جديدة  
غير أنه في الغليظة والجديدة يكون انظرهما في البالية والرفيعة وكذلك يكون  
انظرهما في الملفات الصغيرة من الكبيرة لكن اذا تركا تلك الجبال ساكنة معتمدة من  
الزمن وورفعنا الملف من غير أن نخفضه وجدنا شد الجبل يزيد زيادة بينة لكن  
لا يصل الى الحد الذي حمله **ك ك** في تجاربه الا بعد أن يسكن ٥ دقائق  
او ٦ وعليه ففي التحرك المتكرر الذي تكون فيه القوى معدة لرفع الثقل  
ونخضه كافي تأثير آلات الدق المعدة لرفع الكبس او الشامردان المستعمل  
لدق الخواير في الارض يكون شد الجبل اقل مما في التجارب المتقدمة  
ومن هذا القليل الجبل الذي يميز بين متجاورين \* ولكيلا يكون التحرك  
سريعا يلزم أن تكون القوة المستعملة في الظفر بشد الجبل عند التواءه على  
البكرة الثانية دون القوة المستعملة في ثيه على البكرة الاولى وان كانت حرجهما  
واحدة بالنظر للشد

ويؤخذ من التنبيه المذكور أن الاجزاء المتنبية تاخذ في الاستقامة مع البطيء  
وأن الشد كبيرا كان او صغيرا يكون على حسب هذه الاستقامة

وزيادة على ذلك يلزم العمل بمقتضى هذا التنبيه في حساب آلات البعارة  
البطيئة الحركة بطلا كافيًا والتي بكراتها دائمًا على مسافات كافية من بعضها  
ليكون كل جزء من أجزاء الجبل عند مروره من بكر إلى آخر مستوفيا للزمن  
الذي يستكمل فيه شدة وعلى ذلك فلا بد في تقويم الآلات غالبًا من حساب  
التقاومات بالنظر للحالة التي تقصر بالقوى المحركة

ثم إن الحواصل المكتسبة من الآلة المرسومة في شكل ١٥ تبين الحواصل  
المكتسبة من الآلة المرسومة في شكل ١٤

وذلك اتنا وضعنا مآلاتي  $\overline{ط ط}$  و  $\overline{ط ط}$  اللامتين الوحي  $\overline{د د}$  و  $\overline{د د}$   
ووضعنا أيضًا الوحي  $\overline{م م}$  و  $\overline{م م}$  الفيلين في موضع ضيق وجعلنا أعلاهما  
أقربًا وأصلنا ماصلاً تاماً فكان بينهما فرجة طولية

ولم نزل نضع بالتوالي ملفات متنوعة على قاعدتين من البوط حتى صار محور  
هذه الملفات (شكل ١٥) مودياً على هاتين القاعدتين اللتين أطرافهما  
مستديرة وحيث لهما على غاية من التساوي علقنا في طرفي الملف اتصالاً قدرها  
٢٥ كيلوغراماً بخيوط من الدبارة القينة التي تبلغ دورتها ٤ ميليجرات  
ونصفاً ولا يبلغ شدة أجزائها من واحد من ثلاثين من شدة الجبل المركب من ٦  
فروع وقد يحصل ضغط معين على القاعدتين بواسطة عدة خيوط من الدبارة  
الموزعة على الملفات كل منها يحمل ثقلًا يبلغ ٢٥ كيلوغراماً في طرف  
كل ملف من تلك الملفات وبواسطة ثقل صغير يعلق بالتعاقب في جهتي الملف  
تختبر القوة التي تحرك هذا الملف تحريكاً مستمراً غير محسوس ونظفر أولاً

بشد الجبل **ث ث** وثانياً باحتكاك الأسطوانة

وشدة الجبل دائماً على نسبة منعكسة من قطر الأسطوانة

وأما احتكاك الأسطوانة **ب ب** الحاصل على مستواقي فهو على نسبة  
مطردة بالنظر للانضغاطات ومنعكسة بالنظر للتطرر فعلى ذلك كلما كان قطر  
الأسطوانة التي لها ثقل واحد كبيراً كانت مقاومة الاحتكاك صغيرة

ومثل ذلك واضح غالباً ويكثر في اشغال الزراعة استعمال الاسطوانة التي  
يناس بها على الاراضي المزروعة لتكسب ما فيها من المدد وتقيته ودرس  
الحشائش التي عليها حتى تصير رفيعة ومساوية لحجم الارض ولا بد من تحقيق  
مقاومة الاحتكاك بقدر الامكان بحيث يمكن للفرس الواحد أن يجز بدون  
مشقة اسطوانة طويلة او ثقيلة وهذا جار في اتكثرة قرى التركيز  
يستعملون اسطوانات مجوفة من الحديد الصب جامعة بين الصلابة والخفة وكبر  
القطر وحيث انه في الاسطوانات المتساوية الجسم يكون مقدار انحراف المحرف  
منها اكبر من مقدار انحراف المصنعة فان القوة المكتسبة من الاسطوانة تتغير  
في ادنى النسب واصغرها بالمواقع التي يلزم أن تقاومها الاسطوانة وتظفر بها  
ويجربى مثل ذلك في استعمال العجلات في النقل على اختلاف انواعه

وحيث انتهى الكلام على الاحوال الاصلية المتعلقة بتوازن البكرات  
المستعمل كل منها على حدته اومع بعضها بطرق مختلفة فاسب أن يقتصر على  
طرق صناعة هذه الآلات فنقول ان عمل البكرات من اهم فروع الصناعة  
لا سيما عند البحارة وله كيفية مخصوصة ويطلق اسم البكراتية على صناع  
هذه الآلات

ولم تعرض في كتابنا هذا لذكر البكرات المعدنية التي تصنع اجزائها الاصلية  
بشوالب مخصوصة معينة مع الاهتمام ومصنوعة على منوال الاشياء التي  
يصنعها البحارون مع الضبط والاحكام ومسبوكة من الحديد او النحاس  
ومشغولة على حسب قواعد صحيحة مضبوطة بل اقتصرنا على بيان صناعة  
البكرات الخشبية ولذا ذكر ذلك فنقول

تصنع بكرات الخشب بعمل قرصها بالمقنار والمهرطة ومندوقةها بالآلات الصلح  
الشبيهة بالآلات الجرار وصانع القباقيب وقد يصنع بالآلات اخرى صناعة  
مقبلة وهو مركب من اربعة وجوه كل اثنين منها موازيان لمستويي التمثل  
الذين احدهما مواز لمستويي الدحراس والاخر عمود عليهما  
وقد اختراع برونيل الميكانيكي وهو من على المقترنات لاجل عمل الوجوه

المذكورة كاجزاء الاسطوانة المستديرة طريقة تبديعة في صناعة ذلك وهي أن  
تثبت على محيط عجلة كبيرة قطعة من الخشب بحقوة تجو فاضا مربعا وملازمة  
للبكرات المطلوبة في الطول والعرض والمحمل وبعد تثبيت تلك القطع على المحيط  
المذكور تبيتنا جيدا ندير ذلك المحيط على وجه بحيث يكون محور كد منتظما  
ثم نصنع الوجه الخارج لكل قطعة ويكون كل وجه من هذه الوجوه على  
شكل قوس اسطوانة قائمة مستديرة محورها هو عين محور العجلة وبعد ذلك ندير  
من الزاويتين القائمتين كل قطعة من قطع الخشب بحيث تصير وجوهها  
الخارجة داخلها بالنسبة للدائرة التي تحملها ثم نحزله العجلة الكبيرة ونصنع  
وجوه القطع التي صارت خارجية ثم نأخذ هذه القطع ونضعها على عجلة  
جديدة قلها قطر موافق وعند ذلك نصنع في كل صندوق الوجهين اللذين لم يصنعا  
وتكون مناغتهما على شكل قوس اسطوانة مستديرة نصف قطرها ميان  
لنصف قطر الاسطوانة السابقة وتكون ملائمة لصورة الصندوق  
فتكون القوة المحركة على طريقة برونييل حادثة من آلة بخارية وقد تكون  
حادثة من دوران التحليل او من قوة الماء او من قوة الناس والمطلوب لنا هنا هو  
تفاصيل العجلة وتحركها المستدير

وهناك صناعة اخرى لا بد منها وهو عمل الثقوب ذات الوجوه المستوية التي  
يوضع في كل منها قرص بكرة وهذه الصناعة اذا حصلت بالكيفية المعتادة  
بالمطرقة والمقرص كانت بطيئة صعبة بخلاف ما اذا كانت بمنقباب تنقبه  
في طرف من اطراف المقرص ثقب اسطوانيا في جهة محل القرص يكون  
قطره مساويا للعرض هذا المحل ثم تشر بمنشار رفيع جدا داخل في هذا الثقب  
من جهتي الجنب والشمال جزأ من الخشب المراد ازالته لاجل عمل محل القرص  
فانها بهذه الطريقة تكون سهلة

ولامانع من أن نستعمل في ذلك مقرصا يكون له واسطة قوة مستترة  
تتحرك متروك وهذا الطريقة هي التي اختارها العالم هوبيرت احد مهندسي  
البحارة

فإذا كانت البكرات تتصل انضغاطا عظيما فان الضغط الذي يقع على محورها من قرص البكرة يكون قويا وينشأ عن ذلك من جهة أن هذا المحور ينزوي وتتغير مسوره ومن أخرى أن الثقب المصنوع في قرص البكرة لاجل مرور المحور منه يسع اتساعا غير متساو ما لم تكن قوة القرص واحدة في سائر الجهات ويعظم هذا التخلل في البكرات التي تكون محاورها واقراصها منخفضة من الخشب ولو كانت المحاور من خشب صلب كالخشب الأخضر والاقراص من خشب آخر يعادله كخشب الأبنياء

والاولى استعمال الجواهر المعدنية في المحاور والاقراص وقد علمت اقراص من حديد السبك شهيرة بمتعتها وتواصل اجزائها ويستحسن عادة أن تكون المحاور من الحديد والاقراص من الخشب وأن يحيط بمراكزها حلقة من النحاس بها فتحة مستديرة قطرها منطبق على قطر المحور انطباقا تاما

ثم ان فن تجويف الاقراص المنخفضة من الخشب لاجل وضع القمة من نحاس فيها هو من الاعمال الدقيقة اللطيفة التي يمكن اجزاؤها على وجه تام بطرق ميكانيكية منتظمة كما يمكن عملها باليد وفي طريقة آلة بروينل المتعلقة بصناعة البكرات كفييات عظيمة في عمل القمة وتجويف محل في القرص لاجل ادخال القمة فيه

وينبغي أن يكون وضع قتم البكرات في التجويف المعد لها على غاية من الاحكام ثم يثبت بلسقها به بحيث تكون ملتصقة به التصاقا جيدا ولا يشترط أن تكون هذه القتم متفقة في الصورة وانما يلزم أن تكون صورتها مياينة بالكلية لصورة الدائرة ليحصل منها نهاية ما يمكن من المقاومة عند الدوران في القرص لان القمة اذا دارت يهتد المثلثة بعدم تحركها الصلابة الناشئة عن احكام وضعها وثم قتم مرعبة واخرى مثلثة وقتم بروينل على شكل زهر الربة مرعبة من ثلاث دوائر مراكزها على بعد واحد من بعضها

\*(الدروس العاشر)\*

\*(في بيان المصنق والطارات المضرومة)\*

المتبقي (شكل ١) مركب من اسطوانة كاسطوانة  $\overline{أ ب د}$  وطارة  
مستديرة كطارة  $\overline{هـ ف}$  ولهما محور واحد وهما مثبتان ببعضهما بحيث  
لا تدور الطارة بدون أن تجذب الاسطوانة عند تحركها وهذه الاسطوانة  
يجعلها طرفا المحور وهما  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$  اللذان يدوران في تعيين مستديرين  
على مسدين ثابتين وعلى تلك الاسطوانة يلتف جبل مثبت من احد طرفيه  
ومربوط في طرفه الآخر مقاومة كقوامة  $\overline{ر}$  فتكون قوة  $\overline{ح}$  حيث  
واقعة على محيط الطارة

وفي هذا لا تسهل معرفة النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة لانه يلزم لاجل  
دوران الاسطوانة على محورها أن يكون مقدار مقاومة  $\overline{ر}$  مساويا للمقاومة  
تسها مضروبة في نصف قطر الاسطوانة

ويلزم لاجل دوران الطارة أن يكون مقدار قوة  $\overline{ح}$  مساويا لتلك القوة  
تسها مضروبة في نصف قطر الطارة

ولاجل حصول التوازن يلزم امران الاول أن يكون المقداران المذكوران  
مؤثرين في جهتين متضادتين والثاني أن يكونا متساويين وهذا هو السبب

في اهتمامهم دائما بإدارة طارة  $\overline{هـ ف}$  في جهة مضادة لاتجاه مقاومة  $\overline{ر}$   
التي يراد التغلب بها

ولنفرض الآن أن المطلوب تعيين الضغطين الحاصلين على  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$   
الذين هما طرفا المحور واصبعا الاسطوانة

فإذا كانت قوة  $\overline{ح}$  مارة بمحور الاسطوانة وكانت تقطعا  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$   
موجودتين في مستوى هذه القوة ما يمكن بدون واسطة تحليل قوة  $\overline{ح}$  الى

قوتين موازيين لها ومارتين بنقطتي  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$  على التناظر

فإذا لم تكن قوة  $\overline{ح}$  مارة بمحور الطارة فلا مانع من تحليلها كما تقدم  
(في الدرس الخامس شكل ١٦) وهذا بالنظر الى قوة  $\overline{أ س}$  التي لم تمر

بمركز ثقل الجسم الذي حركته

فلنرض اذن عوضا عن قوة  $\overline{ح}$  أولا قوة  $\overline{ع}$  المساوية والموازية لها  
والمارة بنقطة  $\overline{و}$  التي هي مركز الطارة وثانيا قوتين مساويتين  $\frac{1}{2} \overline{ح}$   
ومتجهتين على وجه بحيث يديران الطارة في جهة واحدة ويوتران في طرفي  
قطرها ولما كان تأثيرا بين القوتين انما هو لاجل دوران الطارة على مركزها  
بدون أن يذفع اذ ذلك المركز الى اى جهة كانت ليدفعها ايضا مسندى  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$   
الى اى جهة كانت

فحيث يكون ضغطا  $\overline{ح}$  و  $\overline{ح}$  الحاصلان على مسندى  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$   
حادثين من قوة  $\overline{ع}$  المساوية والموازية لقوة  $\overline{ح}$  والمؤثرة في نقطة  $\overline{و}$   
التي هي مركز الطارة تأثيرا يكون على مستقيم واحد مع هذين المسندين  
فان نحدث هاتان المعادلتان وهما

$$\overline{ح} = \overline{ح} + \overline{ح} \text{ و } \overline{ح} \times \overline{م} = \overline{ح} \times \overline{ن}$$

$$\text{او } \overline{ح} \times \overline{م} = \overline{ح} \times \overline{م} \text{ و } \overline{ح} \times \overline{م} = \overline{ح} \times \overline{ن}$$

وبمثل ذلك يبرهن على أن مقاومة  $\overline{ر}$  تحدث على مسندى  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$   
ضغطي  $\overline{ر}$  و  $\overline{ر}$  بحيث تحدث هاتان المعادلتان وهما

$$\overline{ر} = \overline{ر} + \overline{ر} \text{ و } \overline{ر} \times \overline{م} = \overline{ر} \times \overline{ن}$$

$$\text{او } \overline{ر} \times \overline{م} = \overline{ر} \times \overline{م} \text{ و } \overline{ر} \times \overline{م} = \overline{ر} \times \overline{ن}$$

وحرف  $\overline{س}$  هنا يدل على النقطة التي يكون فيها التجماع مقاومة  $\overline{ر}$  ساقطا  
سقوطا عموديا على محور الاسطوانة  
ديونخذ من هذه المعادلات مباشرة أن

$$\overline{ح} = \frac{\overline{ح} \times \overline{م}}{\overline{م}} = \frac{\overline{ح} \times \overline{ن}}{\overline{ن}} \text{ و } \overline{ر} = \frac{\overline{ر} \times \overline{م}}{\overline{م}} = \frac{\overline{ر} \times \overline{ن}}{\overline{ن}}$$

وهذه مقادير بسيطة سهلة الحساب

فاذا كانت قوتا  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  ماريتين بنقطة  $\overline{م}$  وقوتا  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$

مارتين بنقطة  $\overline{ن}$  سهل تحصيل محصلتها وهي الضغط الكلي الحاصل على  
 مسندى  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$  من القوة والمقاومة  
 ثم ان اسهل الصور في هذا المعنى واعما هو ما كانت فيه قوة  $\overline{ح}$  موازية  
 لمقاومة  $\overline{ر}$  فعلى ذلك تكون  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  و  $\overline{خ}$  و  $\overline{ز}$  متوازية ايضا  
 وتكون محصلة  $\overline{ح}$  و  $\overline{ز}$  هي  $\overline{ح} + \overline{ز}$  ومحصلة  $\overline{خ}$  و  $\overline{ز}$   
 هي  $\overline{ح} + \overline{ز}$  وهذه هي الصورة التي يقع فيها على المسندين اعظم ضغط  
 يمكن بالنظر لحدارين مفروضين للقوة والمقاومة  
 فاذا لم تكن القوة والمقاومة متوازيتين فان  $\overline{ح}$  و  $\overline{ز}$  و  $\overline{خ}$  و  $\overline{ز}$   
 لا تكون ايضا متوازية ابدا فتكون  $\overline{م س}$  هي محصلة  $\overline{ح}$  و  $\overline{ز}$   
 و  $\overline{ن س}$  هي محصلة  $\overline{خ}$  و  $\overline{ز}$  وذلك بواسطة متوازي الاضلاع للقوى  
 الميمنة بمستقيمان  $\overline{م ح}$  و  $\overline{م ز}$  و  $\overline{ن ح}$  و  $\overline{ن ز}$   
 وحيث كانت القوة دائما واقعة على مستوى الطارة فان الضغط الحاصل منها  
 للمسندين يبقى على حاله لا يتغير لكن اذا كانت المقاومة حاصلة في طرف الحبل  
 الذي يلق او يفسر تدريجا بحيث يتكون منه طرفون على اسطوانة المنجنيق  
 فان تلك المقاومة تنقل نارة الى احد المسندين واخرى الى الاخر وبذلك يزداد  
 الضغط الحاصل على المسند الاول لينقص الضغط الحاصل على الثاني وهذا  
 بحسب النسب المتقدمة وحيث ان كانت المقاومة مجاورة بالكلية لاحد  
 المسندين فانها تحدث عليه ضغطا يكاد يكون مساويا لقوته الكلية بخلاف  
 الضغط الحاصل على المسند الآخر فانه يكاد يكون معدوما متى كانت  
 المقاومة على بعد واحد من المسندين صار الضغطان متساويين  
 هذا ويلزم عمل المنجنيق على وجه بحيث تكون صلابته كافية لان يقاوم مسنداه  
 اعظم ضغط يمكن  
 ثم ان المنجنيق كغيره من الآلات المتقدمة التي اختبرنا تأثيرها قطع فيه النظر



عن ثقل الآلة ويقطع النظر ايضا عن قطر الجبل المقروض انه صغير جدا  
والاوجب أن تكون قوة  $\overline{ح}$  ومقاومة  $\overline{ر}$  واقعتين على اتجاه محور الجبل وبنائه  
على ذلك يضاف الى قطري الاسطوانة والطارئة نصف قطر الجبل المستعمل  
وبالجملة فتى اثرت قوة  $\overline{ح}$  (شكل ٢) على جبل  $\overline{أ ب ح}$  الذي له  
محك معين وشدت جميع اجزائه بالسوية فان هذا الجبل يكون مستديرا وتكون  
محصله سائر الجهود ذات الحاصلة في كل جزء على كل فرع من الجبل مارة بمركز  
هذا الجبل واذا يمكن أن نعتبر قوة  $\overline{ح}$  المحولة لاجل التأثير في جميع فروع  
الجبل كلها واقعة على محور الجبل المذكور وحيث أن يكون مقدار هذه القوة  
مساويا  $(\overline{ث} + \overline{أ}) \times \overline{ح}$  اعني انه يكون مساويا لنصف قطر  
الطارئة زائدا نصف قطر الجبل مضروبا في القوة

فاذا اعتبرنا الآن تأثير جبل  $\overline{س ر}$  المشدود من احد طرفيه بمقاومة  $\overline{ر}$   
والمقوف من الطرف الاخر على اسطوانة  $\overline{ث}$  ظهر لنا بهذين الامرين  
أن تأثير قوة  $\overline{ر}$  الحاصل على الاسطوانة هو كتابة عن مقدار  $(\overline{ث} + \overline{س})$   
 $\times \overline{ر}$  اي نصف قطر الاسطوانة زائدا نصف قطر الجبل  
مضروبا في المقاومة المؤثرة في هذا الجبل

وعلى ذلك ففي الخنثيق الذي نصف قطره طارئة  $\overline{ث أ}$  ونصف قطر اسطوانته  
 $\overline{ث س}$  ونصف قطره الجبل المشدود بقوة  $\overline{ح}$  المؤثرة في الطارة  $\overline{أ أ}$   
ونصف قطره الجبل المشدود بقوة  $\overline{ر}$  المؤثرة في الاسطوانة  $\overline{س س}$   
يكون شرط التوازن هو مساواة حاصل ضرب القوة في مجموع نصفي قطري  
الطارئة والجبل المشدود بهذه القوة لحاصل ضرب المقاومة في مجموع نصفي  
قطري الاسطوانة والجبل الذي يشده هذه المقاومة

فاذا كان المطلوب أن القوة او المقاومة تقطع مسافات كبيرة لم يكف في ذلك  
وضع صف واحد من ادوار الخيال على الطارة بل يلزم لذلك غالبا وضع صفين  
او ثلاثة ولا يخفى أن القوة في كل صف جديد تكون متباعدة بالتدريج عن  
المحور وبعد واحد وهو قطر الجبل في كل دور وبذلك يزداد كثيرا بعد المركز عن

اتجاه القوة ويزنم الاعتناء بضبط العملية عند تقويم النسبة الحاصلة بين المقاومة والقوة في حساب قوازن منجنيق واحد أو أكثر تقويم مضبوطا ثم ان غلط الحبال لا يغير شيئا من وضع مركز الطارة بالنظر للقوة ولا من نقطة المحور التي يتوهم فيها انقطاع المحصلة لاجل التأثير على المساند فعلى ذلك لا يتغير بغير غلط الحبال شيء من الضغط الحاصل على المساند

ولكن اذا انحزرت المنجنيق فان غلط الحبال يضم مقاومته الخصوصية الى سائر المقاومات ويكون كما تقدم على نسبة مطردة بالنظر للشدود البسيطة ومربع قطر الحبال وعلى نسبة منعكسة بالنظر لقطر اسطوانة المنجنيق او طارته او نصف قطرهما ويؤخذ من ذلك انه ينبغي في استعمال المنجنيق مزيد الاهتمام بعمل حبال تكون قوتها عظيمة جدا بالنظر لقطر مفروض

ولنلاحظ ما ينشأ عن القوة والمقاومة من التأثير الظاهر الواقع على عمود المنجنيق فنقول انه بواسطة تأثير قوة  $\overline{ح}$  تجبر الاسطوانة او عمود المنجنيق على الدوران في نقطة  $\overline{و}$  (شكل ١) نحو  $\overline{ح ح}$  الذي هو اتجاه تلك القوة وبواسطة تأثير مقاومة  $\overline{ر}$  يجبر ذلك العمود ايضا على الدوران في  $\overline{س}$  نحو  $\overline{ر ر}$  الذي هو اتجاه تلك المقاومة المقابلة لاتجاه نقطة القوة فاذا لم يكن العمود مركبا من مادة لا تتغير فان هذين التأثيرين المتضادين يؤثران فيه كثيرا او قليلا و يلتوى التواء مناسبا لقدارى القوة والمقاومة

وسأني في الدرس المعقود للبريمة تفصيل ما يتعلق بتأثير قوة الالتواء وصورة الحازون التي تكاد تجعل الالياف المستقيمة اسطوانات اى اعمدة تستعمل في الآلات وذلك من اهم الاشياء في متانة العمارات ومكثها

\*(بيان تأثيرات التناقل في المنجنيق)\*

وما اسلفنا في شأن تأثيرات التناقل في البكرات يجري ايضا في شأن التأثيرات الحاصلة على المنجنيق والطارات المضرومة

ومن القوى المعدومة ما يستعمل في التفريق بينى الاسطوانة والطارة ويزنم أن يضاف الى الانضغاطات الواقعة على كل محور وكل نقطة من نقط

الارتكاز الضغط الرأسى الحاصل من ثقل طارة الاسطوانة والحبال  
واما الحبل الذى يلتف من طرف على اسطوانة المنجنيق او المعطاف ويربط  
من الطرف الآخر بالمقاومة فانه عند التناقص على الاسطوانة يتقطع ثقله  
بالتدريج عن أن يكون جزءاً من المقاومة الاصلية ويكون جزءاً من المقاومة  
التي تعرض لها من الاسطوانة وبذلك يكاد يتقص في كثير من الصور المقدار  
الكلى للمقاومة

ولاجل بقاء هذا المقدار الكلى على حاله دائماً يستعمل في الغالب ثقل معلق  
بطرف الحبل مقابل للثقل الذى يشد المقاومة فينفرد الحبل حينئذ من جهة  
الثقل بقدر ما يلتف من جهة المقاومة وبالعكس وبالجملة فالحبل يلتف دائماً  
على الاسطوانة بهذا القدر وبناء على ذلك تكون النسبة الحاصلة بين القوة  
والمقاومة واحدة دائماً حتى صارت سرعة التحركات منتظمة

ثم ان الضغط الحاصل على المحاور ونقطة الارتكاز يعظم بقدر ثقل الاسطوانات  
والطارات التي تتركب منها الآلات المستعملة فيازم اذن أن تكون اتصالاتها  
صغيرة مهما امكن لكي تنقص بقدر الامكان المقاومات الحادثة من الآلات  
وسأنى توضيح ذلك في الكلام على الاحتكاك

وتسبيل في الغالب طارة المنجنيق بذراع رافعة تكون القوة واقعة عليه  
فاذا كان هذا الذراع مستقيماً يسمى قضيباً والمناويله وهي الملولى هي في العادة  
رافعة منكسرة، بها مقبض تكون يد الانسان عليه كالثقوة (شكل ٣)

وفي الغالب يستعمل بدلا من قرص البكرة لاجل تحريك عمود المنجنيق  
طارات ذات مدرجات واخرى ذات طناير فاما ذات المدرجات (شكل ٥)  
فيصعد على مدرجاتها الثائرة في بين محيط الطارة وشماله كما يصعد على درج  
سلم التسلق ويحصل التحرك اذا كان حاصل ضرب جهد ثقل الصاعد في بعد  
مركز الطارة عن الخط الرأسى الممتد من ثقل ذلك الصاعد يزيد على حاصل  
ضرب ثقل المقاومة في بعد محور الطارة والاسطوانة عن الخط الرأسى الممتد  
من مركز ثقل تلك المقاومة

وقائدة هذه الآلة هي أن الصاعد على المدرجات يكون بعيدا ما أمكن عن الخط  
الرأسي الممتد من مركز الطائرة وبناء على ذلك يعظم تأثيره بقدر الامكان  
كلما فرضت الطائرة كبيرة

وهناك طائرات أخرى عريضة ومجوفة في داخلها مسك يتر منه الشغالون  
المنوطون بتسيير الآلة وفي هذه الصورة كالتى قبلها تقاس النسبة الحاصلة  
بين القوة والمقاومة وسيأتى في الدرس الحادى عشر المختص بالمستويات  
المائلة بيان كيفية وقوع قوة الصاعدين بيا ناسافيا

ويكثر في بلاد الانكليزا استعمال الطناير التى تقع عليها قوة الانسان بطرق  
متنوعة ولنفرض طنابورة او اسطوانة كبيرة القطر على محيطها درجات  
صغيرة بارزة مثبتة على بعد واحد من بعضها موضوعة على وجه بحيث  
يسهل على من تكون يدها متكئة على قضيب افقى أن يصعد عليها خطوة بخطوة  
بدون احتياج الى مدّرجية مذكّرة ان ان الضصاص المعدن لتعريك  
الطنابورة يقفون بجانب بعضهم ويقبضون بأيديهم على القضيب الافقى المذكور  
واما ارجلهم فأنهم عند تقلها يضعونها بالتعاقب على الدرجات المزدوجة  
او غير المزدوجة لتدويرها الاسطوانة وهذا الشغل المخترع للمحبوبين  
محدود من العقوبات الشديدة ويؤخذ من ذلك أن قوة الناس المؤثرة يمكن  
أن تستعمل في تحصيل امور نافعة فانا كنبت المقاومة واقعة على محيطهم  
الطنابورة كانت نسبة المقاومة الى القوة كنسبة بعد محور الطنابورة عن الخط  
الرأسي الممتد من مركز ثقل الشغالين الى نصف قطرهم الطنابورة المذكورة  
والارغاث الاقية هي آلة مركبة من اسطوانة اقية كاسطوانة المنجنيق  
ومن قضبان او روافع غائرة من احد طرفها في ثقب مصنوعة على محيط  
الاسطوانة من جهة طرفها واما الطرف الاخر من القضبان فانه يقع عليه  
تأثير جهد ايدى الشغالين ونسبة القوة الى المقاومة هنا كنسبة نصف قطر  
السهم زائد نصف قطر الجبل الذى تربط به المقاومة الى بعد المحور عن النقطة  
التي يقع عليها تأثير ايدى الشغالين

ولامانع من استعمال الآلة المذكورة في جواب السفن وتستعمل ايضا  
في عربات النقل الضيقة الطويلة المعروفة بالكاميون وفي هذه العربات  
يوضع سهم آلة الارغات امام العجلات ويكون الحبلان الملتصقان على السهم  
المربوطان من طرفهما في النهاية الخارجية من العربة موضوعين فوق البضائع  
فاذا كان تأثير الجهد حاصلًا بواسطة قضبان الآلة المذكورة لاجل لف الحبلين  
كثيرا فانهما يجبران على أن يكونا دائما في مسافة صغيرة وعلى ضم البضائع  
لبعضها ومنهما بحيث لا يمكن وقوعها بالتأثير الناشئ عن الاربعاج

ويكثر استعمال المنجنيق وآلة الارغات في الصناعة قديلا انكثرة  
على واجهات المخازن الكبيرة المعدة للتجارة خيوطا رأسية لاجل اسناد  
الشباك وترى ايضا فوق واجهة الشباك الزائد عن غيره في الارتخاع بكرة  
ثابتة دائما في طرف الحلقة التي تكون تارة بارزة من الحائط وتارة ملصوقة به  
وذلك على حسب ما يراد فاذا كان المطلوب رفع بضائع او تنزيلها فانهم يربطونها  
في طرف حبل يترى بكرة ثابتة ويصل الى المخازن فيلتف على سهم المنجنيق  
المحرك تارة بالمانويل وتارة بالعجلات وما شابه ذلك ومن المهم استعمال  
الآلات البسيطة لاسيما المنجنيق في تجارات فرنسا

ثم ان آلة العيار (المعدة لرفع الاحجار) هي من متعلقات المنجنيق والغرض منها  
امران احدهما رفع الحمل او خفضه وثانيهما وضعه في محل لا يكون على الخط  
الرأسي المقابل لوضع الحمل الاصل فيلزم عمل حلقة تدور على السهم الرأسي  
ويكون في طرفها الاعلى قرص بكرة ثابتة وفي طرفها الاسفل سهم المنجنيق  
او آلة الارغات المتحركة باحدى الطرق السابقة اعني القضبان او الطنابير  
فاذا اقتضى الحال اخراج ما في السفن من البضائع ووضعها على الرصيف  
وكانت العيار موضوعا على طرف ذلك الرصيف القريب من السفن فالتأثير  
حلقة العيار الى النقطة التي يكون فيها القرص الثابت في الذراع الاعلى  
من الحلقة موضوعا رأسيا على قطرة السفينة ( المعروفة عند الملاحين  
بالكويرته ) التي يراد ترفيعها وتربط البضاعة في طرف الحبل الذي يترى بالبكرة

الثابت ويلتف على اسطوانة المنجنيق ثم توجه تأمير القوة المعدة لتحريك هذا المنجنيق الى الجهة اللازمة لرفع الحمل فاذا وصل هذا الحمل الى الارتفاع اللازم ابطلنا دوران المنجنيق وندير الحلقة على سهمه حتى تصل الى النقطة التي يكون فيها الحمل المعلق في تلك الحلقة موضوعا رأسيا على الرصيف فينبذ يقع على القوة تأثير المقاومة ويبسط الحمل بواسطة تأثيره حتى يصل الى الرصيف او العربة التي تكون مسامحة لهذا الحمل ثم ان اغلب العبارات يتحرك بواسطة قوة البشر ومنها ما يتحرك بقوة البضار وقد ذكرنا من هذه الالات ما هو اكثر استعمالا في الجزء الثالث من رحلتنا الى بلاد ابريطانيا الكبرى (قوة تجارية داخلية) وذكرنا ايضا تلك الالات امثلة عديدة مع ما يلزم لها من الاشكال الهندسية وهي قليلة الحجم كثيرة الصلابة لكون جميع اجزائها من الحديد

ولا بد في عمل العبارات مع الضبط أن يكون صانعها له اليد الطولى في الهندسة والميكانيكا حتى يجعل لاجزائها المتنوعة اشكالا وتناسبات تنفع جدا في ضبط الحركات وتلطيفها ولا بد ايضا أن تكون الاجزاء المتحركة من العيار خفيفة بقدر الامكان وأن تكون صلبة على حسب ما تقتضيه الضرورة لان قوة ايتريس الاجزاء الثقيلة جدا يستلزم في نظير ما يتعدى منها جهدا يترتب عليه توفيرها وما ذكرناه سابقا من القواعد وما سنذكر منها في هذا الجزء له شواهد واضحة في صناعة العيار وغيره من سائر الالات التي هي من قبيل المنجنيق

ومن الالات الشبيهة بالمنجنيق آلة رفع الاثقال المعروفة بالعروق وهي مركبة من سهم افقي موضوع قريبا من قاعدة المثلث الحادث من عارضة افقية وقائمين مائلين ومن بكرة مثبتة في الرأس الذي يلتصق فيه القائمان ببعضهما وهذا المثلث الذي قاعدته على الارض يكون ممسكا من رأسه بساق ثالث مائل الى جهة تضاد الجهتين الاوليين فاذا كان المطلوب رفع حمل فان هذه الالة توضع على وجه بحيث يكون الحمل بين سيقان الالة الثلاثة ويكون احد طرفي الحبل المار بالقرص الثابت ممسكا للعمل والطرف الاخر ملتفا على سهم المنجنيق

المتحرك بواسطة القضبان او الروافع وكثيرا ما تعمل الآلة المذكورة  
في اشغال الطوبجية وقد تقدمت صورتها (في شكل ٧ من الدرس الرابع  
من الجزء الاول)

والمعطاف (شكل ٨) هو مضيق محوره رأسى والقضيب او القضبان  
المعدة لتحريكه اقية

ويتحقق التوازن في العيوق والارغاف والمعطاف متى كان حاصل  
ضرب القوة في طول ذراع الرافعة الواقعة على طرفه هذه القوة مساويا لحاصل  
ضرب المقاومة في نصف قطر الاسطوانة فأنذا نصف قطر الحبل الذي تكون  
هذه المقاومة مربوطة به

فاذا كان هناك عدة قضبان وعدة قوى واقعة عليها لم ضرب كل قوة في طول  
ذراع رافعها واخذ مجموع هذه الحواصل وهذا المجموع هو الذي يكون  
مساويا لمقاومة

وليس تأثير تناقل الآلة على تقطع الارتكاز واحدا في المضيق والمعطاف  
اذ في المعطاف يكون السهم المعروف بلحرس رأسيا وتكون القوة والمقاومة  
مجهتين باتجاهاتهما فيكون تأثيرهما على تقطع الارتكاز ضغطا اقسيا ونشأ  
عن تناقل سهم للمعطاف وقضبانها فخط رأسى لاعلى المحيط المستدير المحدد  
لدخول اصبعي السهم بل على القاعدة الموضوعة تحت ذلك السهم في اتجاه  
المحور وهذه القاعدة التي هي في العادة مجوفة كالطيلسان الكروي تعرف  
بالسكرجة

ولا يتأني في المعطاف حسبا هو مشاهد أن يكون الضغط الانفي الواقع على  
تقطع الارتكاز ناشئا الا عن تأثير القوة والمقاومة لان نقل الآلة لا يدخل له  
في ذلك بالكلية

ويستعمل المعطاف غالبا في الاشغال الداخلية لاجل جبر الاحمال حرا اقسيا  
فتتحلق هذه الاحمال على اللفات الاسطوانية المنخفضة من الخشب والحديد  
وقد تترحل على عجلات صغيرة او كرتنجري في اغار برنجوفة وسبب اختراع

هذه الطريقة الأخيرة انهم ارادوا تقل كتلة علفية عليها صورة بطرس الاكبر  
في مدينة منف بترسورغ

ويستعمل المعطاف ايضا في القنون الحربية لاسيما في الطوبجية لاجل اجراء  
اشغال هذه القوة العسكرية في الترميمات والمسكرات والمخاضرات

وكذلك يستعمل مع الاهتمام في جوارب السفن لاجل اجراء لوازمها واشغالها  
ومعطاف السفن الاكبر (شكل ٧) على صورة سهم رأسي يقب الكوربتين  
ويستقر على سكرجة موضوعة في الكوربة المستعارة ويحيط بهذا السهم  
في احدى الكوربتان المتوسطة جرس على شكل مخروط عوضا عن أن يكون  
على شكل اسطوانة ولا بد أن يكون على محيط هذا الجرس عقدادوار من الحبل  
المعدلشد المقاومة ويلزم أن نوضح هنا تأثير هذه الصورة المخروطية فنقول

قد سبق أن الخطوط الحزوية المرسومة على سطح الاسطوانة هي اقصر خطوط  
يمكن رسمها بين قطعتين على مثل هذا السطح وعليه فتكون القوى الواقعة  
على طرفي الحبل المثنى على صورة خط برمجي حول الاسطوانة في اتجاه هذا  
الخط البرمجي شاذة بالضرورة للحبل المذكور في اتجاه ذلك الخط البرمجي  
وفي هذا الوضع تكون القوتان المؤثرتان بمماسة الخط البرمجي مائلتين بالنسبة  
لاضلاع الاسطوانة او بالنسبة للصورتين غير أن اتجاه القوة والمقاومة يكون  
كما سبق في تعريف المنجنيق والمعطاف عموديا على اتجاه الاضلاع ومحور السهم  
وحيث لا تؤثر المقاومة الواقعة على الطرف الخالص من الحبل المثنى أثناء  
حزونيته على سهم المنجنيق والمعطاف في اتجاه الخط الحزوي فاذن ينشأ عن تأثير  
هذه القوة اختلال الحبل واضطرابه بحيث لا يبقى على الاتجاه الحزوي الذي  
كان عليه وينشأ عن تأثير المحصلة ضغط شديد لحز الحبل المثنى كما سبق أثناء  
حزونيته على محيط السهم بحيث اذا انضم جزء هذا الحبل الى بعض امتداد الخط  
البرمجي شيئا فشيئا حتى يصير المماس لهذا الخط البرمجي في اتجاه المحصلة التي  
يحصل فيها الخلل ايضا

وحيث أنه يلزم في تحريك المعطاف أن تقطع المقاومة واسطة هذه الالة مسافة



كبيرة تساوى طول قنة مثلالها من الامتار عدة مآت فاذا تصورنا ان القنة ملتفة مباشرة على جرس المعطاف لزم أن تحدث ادوارا كثيرة على نفسها وبذلك يزداد قطر الجرس وتنقص شدة القوة

ويمكن تدارك هذا الخلل بواسطة جبل غير متناه يعرف بالجبل البرمى وذلك انه يوجد في هذا الجبل على ابعاده عقد معتبرة كقطع منع ووقوف لاجل ربط القنة التي يراشدها به فتدير هذا الجبل خمسة ادوار اوسنة دورانا حلزونيا على جرس المعطاف وكذا دار المعطاف التف طرف الجبل البرمى الاسفل واقرب طرفه الاعلى فاذا كان الجرس اسطوانيا فانه يستمر على التمرر بهذه الكيفية حتى يصل الجبل البرمى في اقرب وقت الى اسفل ذلك الجرس فيشتبك حيثئذ بين الجرس وسطح كويرة السفينة او يجبر على الالتفاف من جهة مضادة قبلته ليتحصل صف آخر من الجبل للوقوف على الجهة الاولى ولكن لا تنفل أن صورة جرس المعطاف مخروطية ومجوفة من اسفلها فعلى ذلك يتحصل من تحليل القوى على ماسنذكره في شأن المستوى المائل انه كلما قوى شد الجبل البرمى بتأثير المقاومة قوى ايضا ضغط هذا الجبل لاجل رفع جزء الجبل البرمى المتنى كما سبق اننا حلزونيا ويكفي هذا الضغط من زمن الى آخر في رفع سائر الادوار الحلزونية ودفعها الى اعلى

وهذا التأثير الاخير ينشأ ايضا عن كون جرس المعطاف بعد أن كان مخروطيا لايسهل به رفع الجبل في سائر الارتفاعات صار سطح دوران مجعوا من جزء المتوسط كسطح الجرس الذي اخذ منه اسمه وكلما التف الجبل على هذا الجرس وهبط الى اسفل كان على قطعة مخروطية مجعوفة جدا وهذا الميل كما سيأتى في مجتأ المستوى المائل يكسب شد الجبل قوة عظيمة حتى يرفع سائر الادوار الحلزونية الحادثة على الجرس وينقلها الى الجزء الاعلى من المعطاف وبهذه الطريقة البديعة يجبر الخلل المتقدم

وبالجملة ففي الحالة التي يكون فيها الجبل البرمى عند هبوطه الى اسفل الجرس ملتقا على نفسه مع وجود صورة الجرس يتلاقى الجبل المذكور مع

علقى  $\overline{ر}$  و  $\overline{و}$  الصغيرتين البارزتين اللتين يكون محورهما موضوعا على محيط قاعدة جرسين ويكون على هاتين العجلتين مستوى ١١ المائل الذى يدفع الجبل البرمى يجره على الصعود

فاذا فرضنا حيثئذ انه يوجد عدة مخنفيات او معاطيف مثل  $\overline{ا ب ث}$

و  $\overline{ا ب ث}$  و  $\overline{ا ب ث}$  الخ (شكل ٩ و ١٠) موضوعة على وجه

بحيث تكون  $\overline{ح}$  هي القوة المؤثرة على جبل المخنيق الاول ويكون جبل

$\overline{ب ا}$  ملتغا من احد طرفيه على اسطوانة المخنيق الاول ومن الطرف الآخر

على عجلة الثانى ويكون ايضا جبل  $\overline{ب ا}$  ملتغا على اسطوانة المخنيق الثانى

وعجلة الثالث وهكذا فرضنا ايضا ان  $\overline{ر}$  و  $\overline{و}$  و  $\overline{ز}$  الخ هي شدود

حاصلة لجبال متنوعة لزم أن تكون  $\overline{ر}$  و  $\overline{و}$  و  $\overline{ز}$  الخ معتبرة على التوالي

كقوة المخنيق الثانى والثالث والرابع الخ

فاذن تحصل هذه التناسبات البالية على حالة التوازن وهي

$$\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{ث ب} : \overline{ث ا} \text{ و } \overline{ح} = \frac{\overline{ث ب}}{\overline{ث ا}}$$

$$\overline{ر} : \overline{و} :: \overline{ث ب} : \overline{ث ا} \text{ و } \overline{ر} = \frac{\overline{ث ب}}{\overline{ث ا}}$$

$$\overline{و} : \overline{ز} :: \overline{ث ب} : \overline{ث ا} \text{ و } \overline{و} = \frac{\overline{ث ب}}{\overline{ث ا}}$$

فاذا ضربنا الحدود الاول من هذه التساويات في بعضها والحدود الثانية

في بعضها ايضا تحصل معنا

$$\frac{\overline{ح} \times \overline{ر} \times \overline{و}}{\overline{ر} \times \overline{و} \times \overline{ز}} = \frac{\overline{ث ب} \times \overline{ث ب} \times \overline{ث ب}}{\overline{ث ا} \times \overline{ث ا} \times \overline{ث ا}}$$

وإذا قطعنا النظر عن الحدود التي يعمو بعضها بعضا فحصل معنا

$$\frac{\text{ح} \times \text{ش} \times \text{ش} \times \text{ش} \times \text{ش}}{\text{ر} \times \text{ش} \times \text{ش} \times \text{ش} \times \text{ش}} = \frac{\text{ح}}{\text{ر}}$$

وعلى ذلك تكون نسبة القوة للمقاومة في عدة منبقيات او معاطيف كنسبة حاصل ضرب انصاف اقطار سائر الاسهم الى حاصل ضرب انصاف اقطار جميع العجلات

فإذا اردنا أن ندخل في هذا المقدار قطر الجبال لزم أن يكون التوازن حاصلًا متى كان حاصل ضرب القوة في انصاف اقطار العجلات التي كل نصف قطر منها يزيد بقدر نصف قطر الجبل الملقوف على العجلة المقابلة له مساويا لحاصل ضرب المقاومة في انصاف اقطار الاسطوانة التي كل نصف قطر منها يزيد بقدر نصف قطر الجبل الملقوف على الاسطوانة المتعابلة له

ثم ان الطريقة الاتية تستعمل غالبًا في تحويل قهرل دودان من محور مفروض الى محور مواز له وكيفية استعمالها أن نثبت على كل من محوري  $\text{ش}$  و  $\text{ش}$  (شكل ١٠) قرصين  $\text{ش}$  و  $\text{ش}$  و نقيطهما بجبل  $\text{ا-ب}$  غير المتناهي الذي يوجد به فروع صغيرة قريبة جدًا من بعضها ومربوطة في تجويفات مصنوعة في محيط القرصين لتجنعه عن التزللق فإذا كانت  $\text{ح}$  هي القوة المحركة للعجلة الكبيرة والمؤثرة في طرف ذراع رافعة  $\text{ش}$  كان  $\text{ش} \times \text{ح}$  هو مقدار القوة المذكورة وإذا كان  $\text{ط}$  هو شد الجبال لزم أن عجلة  $\text{ش}$  تكون  $\text{ح} \times \text{ش} = \text{ط} \times \text{ش}$  فإذا كان

$$\text{ط} = \text{ح} \times \frac{\text{ش}}{\text{ا}}$$

وإذا كان  $\text{ر}$  هو المقاومة المؤثرة في طرف ذراع  $\text{ش}$  فحصل معنا بلا واسطة شرط التوازن وهو

$$\text{ر} \times \text{ش} = \text{ط} \times \text{ا} \quad \text{فإن} \quad \text{ط} = \text{ر} \times \frac{\text{ش}}{\text{ا}}$$

غير أن شد ط الحاصل من القوة يكون عين شد ط الحاصل من المقاومة

$$\text{وبناء على ذلك تكون } ح \times \frac{\text{شد}}{\text{شا}} = ر \times \frac{\text{شد}}{\text{شا}}$$

فالذا فرضنا أن شد = شو نحصل ح × شا = ر × شا  
وهذان شروط التوازن البسيطة جدا

ولنفرض في حالة التوازن أن ذراع شد الذي تكون قوة ح واقعة عليه يحدث دورة في زمن ط ثم ننظر كم دورة يحدثها في هذا الزمن ذراع شو الذي تكون مقاومة ر واقعة عليه

فيدور قرص أب دورة كاملة في مدة دورة شد وتقطع كل نقطة كنقطة آ على الحبل غير المتناهي مسافة تساوي محيط العجلة غير أن كل شطة من قط العجلة الصغيرة تكون سريعة الحركة كالحبل غير المتناهي لأن المقروض أن الحبل دائما لا يتزحلق بطول العجلات فاذن تقطع نقطة آ في مدة زمن ط على عجلة اـه مسافة تساوي محيط أبه وحيث أن طول المحيطات مناسب لطول انصاف الاقطار يكون محيط اـه الصغير محصورا في الكبير بقدر انحصار نصف القطر الصغير في الكبير وحيث أن نقطة آ تحدث دورات بقدر انحصار شا في شا حتى تقطع على العجلة الصغيرة مسافة تساوي محيط العجلة الكبيرة

فاننا ضربنا عدد الدورات في مقدار المقاومة وهو ر × شو فحصل معنا

$$ر \times شو \times \frac{\text{شا}}{\text{شا}} \times \text{محيط هـ اب}$$

وهي كمية مساوية بالضغط لقوة ح × شد × محيط هـ اب

$$\text{حيث أن } ح \times \frac{\text{شد}}{\text{شا}} = ر \times \frac{\text{شو}}{\text{شا}} \text{ يحدثنهم}$$

$$ح \times شد = ر \times شو$$

وبناء على ذلك يحدث

ح × شد × محيط ه أب = ر × شد  $\frac{ش}{ش}$  × محيط ه أب

وتوجد هنا ايضا المساواة التي تكون دائما باقية على حالة واحدة من كينتي تحرك القوة والمقاومة في تحرك الآلات المتواصل

ويكثر استعمال الآلة التي ذكرناها أ ت في حرفة النجارة وتستخدم ايضا في الحرف الهينة كسك السكاكين وكذلك في فن الغزل كالقرص الذي به يغزل الخيط

وفي ذلك القرص تكون قوة ح هي رجل الفازل المؤثرة في طرف المانوية بواسطة د واسة تنك عليها تلك القوة مرة واحدة في كل دورة

ويستعمل غالبا في الورش التي يحتاج فيها الى مجهودات عظيمة سيور عريضة عوضا عن الحبل غير المتناهي الذي يدير الجهتين و بما استعملت السلاسل عوضا عن الحبال

وقد تستعمل السلاسل المسننة التي تكون كلباتها الصغيرة منضجة الى بعضها بحبال او بسمامير بارزة من الجهتين وداخله في ثقب مصنوعة في الطرفين المثنيين من القرص الذي لا يمكن تحريكه بدون السلسلة

ويمكن بواسطة الطارات المضرسة (شكل ١٢) عدم استعمال ما ذكر من الحبال والسيور والسلاسل وتحويل التحريك من طارة الى اخرى مباشرة لانه اذا قابلنا حيتندين طارقي  $\overline{أه}$  و  $\overline{أه}$  مع كاتنا متحركتين بوتر  $\overline{أه}$  (شكل ١٠) او كان لهما اضراس متعشقة ببعضها مباشرة (شكل ١٢) وجدنا في كلتا الحالتين ان كل قط من قط  $\overline{أه}$  و  $\overline{أه}$  تحرك لبسرعة واحدة الا أن  $\overline{أه}$  (شكل ١٢) يدور من الشمال الى اليمين و  $\overline{أه}$  بالعكس اي من اليمين الى الشمال واما الطارات المقردة (شكل ١٠) فتدور في جهة واحدة

وحيث كانت قطتا  $\overline{أه}$  و  $\overline{أه}$  (شكل ١٠) متحركتين في السرعة فان قطة  $\overline{أه}$  تحدث على  $\overline{أه}$  دورة كاملة حين تحدث  $\overline{أه}$  على  $\overline{أه}$



الى جهة محرك شاه وقوة لن المتجهة الى جهة المقاومة الواقعة  
على الطائرة الثانية وهي شاه لرم لاجل حصول التوازن أن تكون  
هاتان القوتان متساويتين بالبداية

ولتكن قوة ح مؤثرة على اه في طرف ذراع رافعة شد ومقاومة  
ر مؤثرة على اه في طرف ذراع رافعة شو فيحدث

$$\overline{ح} \times \overline{شد} = \overline{م} \times \overline{شو}$$

$$\overline{ر} \times \overline{شو} = \overline{م} \times \overline{شو}$$

$$\text{فاذن يكون } \overline{ح} \times \overline{شو} = \overline{شد} \times \overline{ر}$$

فعلى ذلك يعلم اولاه حيث كان شد و شو معلومين فكلما كان

$$\overline{شو} \text{ صغيرا كبر } \frac{\overline{ح}}{\overline{ر}} = \frac{\overline{شو}}{\overline{شد}} \text{ وثانيا حيث كان شد}$$

و شو ملازمين لحالة واحدة فان ح و ر يكونان على نسبة منعكسة  
عن نسبة شا و نا اللذين هما مضافا طرى الطارتين المضرستين  
فبناء على ذلك اذا كانت الاولى ضعف الثانية او ثلاثة امثالها او اربعة امثالها  
كلت مقاومة ر المعادلة لقوة ح ايضا ضعف هذا القوة او ثلاثة امثالها  
او اربعة امثالها

وهناك آلة تشبه الطارات المضرمة وهي عجلة العربات

وليست الاجسام الطبيعية منتبهة بسطوح مصقولة مقلاتاما وانما هي  
منتبهة بسطوح خشنة متضرمة بتضاريس بارزة كثيرا وقليل لانه اذا رصدت  
الاجسام المصقولة مقلاتاما بالكرسكوب (وهي النظارة العظيمة) وجدت  
بها تضاريس بارزة وبثانيه هذا التضاريس يتعين فحرك عجلات العربة

وذلك ان العجلة اذا كانت مصقولة مقلات جيدا وكانت الارض اقمية فان  
العجلة حين تجذبها القوة الاقمية تمس الارض ذاتها بدون أن يعرض لها ادنى  
مقاومة الا أنه بالتناقل تعشق اضراس العجلة بتضاريس الارض فتشق العجلة

وتعبر على الدوران ثانيا حيث أنه يعرض لها في كل وقت مقاومة جديدة لعدم  
حراً من سرعتها حتى تقف عن الدوران بالكلية ما لم تتجدد القوة المبدومة  
وقد شوهد في عدة أماكن من بلاد الانكليز سكك من الحديد مضمرة  
تدحرج عليها عربات ذات عجلات مضمرة أيضا وكلاهما شاهد واضح على  
ما استقام من أن السطوح المصقولة كثيرا او قليلا وكذلك السكك المسطحة  
والعجلات الاعتيادية لا تتخلو عن الحرسنة

فإذا فرضنا أن العجلات المضمرة اسطوانية او مخروطية وان محاورها بناء على  
ذلك متوازية او متباعدة عن بعضها فان نسبة القوة للمقاومة ليست دائما  
عين نسبة ابعاد النقطة التي تماس فيها الاضراس مع الاسهم المتناظرة التي  
تصل القوة بالمقاومة

ثم ان صناعة العجلات المضمرة هي مرادق الصناعات وذلك انها تستلزم  
مرعاة القواعد الهندسية المضبوطة المتعلقة بتقسيم الدائرة (راجع خواص  
الاسطوانات في الدرس الثالث والثامن من الجزء الاول وكذلك خواص  
المخروط في الدرس الرابع عشر منه)

فإذا كان المطلوب صناعة عجلات ذات قطر كبير لزم مزيد الالتفات الى القواعد  
الهندسية في صناعة الاضراس لانها من الامور المهمة ولا بد ايضا أن تكون  
العجلات دائرية على وجه بحيث تنطبق نقط الضرسين التماسين على بعضها  
كأنطبقا على العربة على الارض بدون أن تتزحلق احدهما وتحتك على  
الآخرى حتى يكون سيرها على وفق المرام من سرعة او بطيء

وهناك موثقات في علم الميكانيكا تشتمل على حل مثل هذه المسائل حللا تاما  
فمن اراد ذلك فعليه بها (منها رسالة الالات للمهندس هاشيت وهي  
رسالة جليلية نافعة)

وعوضا عن استعمال عدد قليل من الاضراس الكبيرة البارزة القصيرة كما كان  
ذلك سابقا استصوب استعمال عدد كثير منها وجعلها قليلة البروز  
والعرض طويلة عن المتقدمة ليكون لها صلابه كافية فيسهل حيث ندرسم صورة



الاضراس ويكتفى في ذلك أن يكون جابها على صورة مستطيل زواياه البارزة  
منفرجة قليلا وتكون مستديرة استدارة خفيفة في الواجهتين العموديتين  
على محيط العجلة وهذا الآلة عند تحركها في سبيل الامر تبرى الاجزاء البارزة  
جدا وان لم يذ كر ذلك في النظريات لكنها بالاستعمال تصير مستحسنة لطيفة  
واغلب صناعات الآلات والساعات الكبيرة يسلكون هذا المسلك في طاراتهم  
المضرة الاعيادية غير أن استدارة هذه الطارات تكون تامة  
فيستعمل صناعات الساعات الكبيرة طارات لا ضراسها صور متنوعة ومتباينة  
بالكلية منها ما هو على شكل محيط اسطوانة (شكل ١٧) ولطارات الجوز  
او المنح (شكل ١٦) (وهي آلات تدوير الى جهة وتفتح الدوران الى اخرى)  
اضراس مستنة ومائلة الى ذراع الرافعة الذي يمنع العجلة عن الرجوع والتأخر  
واذا حصل عند التأخر والرجوع ضرر كبير او خطر في التحرك المستدير لازم  
المبادرة الى آلة المنع ما لم يستعمل لذلك الحاجز المسمى بالزامم الآتى ذكره  
في الدرس الثالث عشر المتعلق بالاحتكاك

وفي الغالب يستعمل التركيب الآتى وهو أن احدى الطارات المضرة  
تستبدل باسطوانة مضرة منيرة تعرف بالقانوس (شكل ١٥) وتتركب  
هذه الاسطوانة من عدة قضبان مستديرة ومحاورها على بعد واحد من بعضها  
وتكون على محيط مستدير ويكون في السطحين المصنوعين على شكل دائرة  
ثقب مربع يعرف بالعاشق يدخل فيها اطراف القضبان المربعة المعروفة  
بالعشوق وحيث ان القانوس المذكور ليس الا طارة مضرة فان نسبة  
القوة للمقاومة تقوم بمقتضى القاعدة المطردة التي سبق توضيحها

والكريك وهي نوع من المصنوع (شكل ١٨) آلة يكون محور طارتها  
المضرة وهو اب تابعا واما قضيبها المستقيم المضرس وهو ه ف  
فانه يكون متحركا بواسطة العجلة

ويوجد في الكريك البسيطة ما يولى كائولا ش ب ب تتحرك بها

طارة آ المضرة المتعشقة بفضيب هـ المضرس وفي هذه الآلة  
تكون نسبة القوة الى المقاومة هي  $\frac{ح}{ر} = \frac{ث}{ش}$  وترى في هذا

التساوى أن  $\frac{ث}{ش}$  هي نسبة المسافتين المقطوعتين في زمن واحد بالقوة

والمقاومة

واما الكريك المركبة (شكل ١٩) فلها مانوية تؤثر على الترس الصغير الاول  
المتعشق بالجملة التي على محورها ترس صغير ثان متعشق مباشرة بفضيب الكريك  
ويجعل  $\overline{د}$  و  $\overline{و}$  ومزيرين الى نصفي قطري المانوية والجملة و  $\overline{س}$  و  $\overline{ز}$   
ومزيرين الى نصفي قطري الترسين المذكورين يحدث معنا في هذه الحالة الجليدية  
شرطا لتوازن وهو

$$\overline{ح} \times \overline{د} \times \overline{ر} = \overline{س} \times \overline{ز} \times \overline{و}$$

مثلا اذا كان  $\overline{د}$  ثلاثة امثال  $\overline{س}$  و  $\overline{و}$  ثلاثة امثال  $\overline{ز}$  فنحصل معنا  
 $\overline{ح} \times ٣ = ١ \times \overline{ر}$  او  $\overline{ر} = ٣ \overline{ح}$  فاذن تكون قوة  $\overline{ح}$   
موازنة لقوة اكبر منها ٣ مرات واما في الابعاد التي يقع عليها الفضيب المضرس  
مباشرة على الترس الصغير الاول فان قوة  $\overline{ح}$  لا تكون موازنة للقوة اكبر منها  
٣ مرات غير انه اذا اريد تحصيل التصريك يلزم أن قوة  $\overline{ح}$  تقطع ٩ مرات  
مقدار من المسافة اكثر من المقاومة

\*(الدرس الحادى عشر)\*

في بيان التوازن على المستويات الثابتة والمستويات المائلة وسلك الحديد  
الى مستوياتها مائلة

فداعتبرا فيما تقدم قطعة ثابتة في توازن الراقعة ومستقيما او محورا ثابتا في توازن  
قرص البكرة والمقننون وماشا كلهما ولنبحث الان عن توازن القوة المؤثرة  
على مستو ثابت بفرض هذا المستوى مستويا مستقلا جيدا فنقول

لكيلا يحصل ادنى تحرك من قوة  $\overline{ح\ ث}$  (شكل ١٠) الدافعة لنقطة  $\overline{ث}$  المادية على مستوى  $\overline{أ ب}$  الثابت يلزم أن تكون هذه القوة عمودية على المستوى المذكور

فإذا كانت القوة المذكورة عمودية على المستوى الثابت فإن النقطة المادية لا تتحرك في جهة أكثر من أخرى مضادة لها بل تبقى ساكنة حيث أن كل شيء يصير متانلا في اتجاه القوة وفي شكل المستوى المعبر في سائر الجهات وإذا كانت قوة  $\overline{ح\ ث}$  المذكورة مائلة (شكل ٢) أمكن حلها إلى قوتين أحدهما وهي  $\overline{ش\ خ}$  متجهة على المستوى المتقدم والآخرى وهي  $\overline{ش\ ح}$  عمودية على هذا المستوى وحيث أن تأثير هذه القوة الأخيرة منعدم بالمستوى المذكور لم يبق إلا قوة  $\overline{ش\ خ}$  وحدها فتؤثر في اتجاه  $\overline{ش\ أ}$  ولا يحصل لها ادنى مقاومة وبذلك لا يمكن حصول التوازن

ولنفرض الآن أن هناك عدة مامن القوى مثل  $\overline{ش\ ح}$  و  $\overline{ش\ خ}$  و  $\overline{ش\ ز}$  الخ (شكل ٣) كلها دافعة لنقطة  $\overline{ث}$  المادية على مستوى  $\overline{أ ب}$  فيلزم جعل كل قوتها في طرف الأخرى بدون أن يتغير اتجاهها ثم يغلن مضلع القوى بمستقيم آخر يبدل مقدارا واتجاها على محصلة هذه القوى فيثبت لا يحصل التوازن (شكل ٣) إلا في الصورة التي تكون فيها  $\overline{ش\ ز}$  أعني محصلة سائر القوى المذكورة عمودية على المستوى الثابت فإذا لم يحصل التوازن فإن نقطة  $\overline{ث}$  المادية (شكل ٤) تتحرك على طول المستوى الثابت كما لو كانت مدفوعة بقوة  $\overline{ش\ ر}$  المنفردة المساوية لمحصلة  $\overline{ش\ ز}$  على المستوى الثابت

ولنفرض بدلا عن النقطة المادية جسم  $\overline{ث هـ ف}$  (شكل ٥) المدفوع على المستوى الثابت بقوة  $\overline{ح}$  فيلزم أن يكون اتجاه  $\overline{ح}$  مائلا بنقطة  $\overline{ث}$  متى كانت هذه النقطة وحدها مشتركة بين المستوى والجسم لأنه إذا فرضنا أن قوة  $\overline{ح}$  تمر بنقطة أخرى من خط المستوى الثابت كنقطة  $\overline{ث}$

واقعة هذه القوة في نقطة الجسم وهي  $\overline{د}$  القريبة بالكلية من المستوى  
الثابت على  $\overline{ح}$   $\overline{ث}$  لم يكن هنالك مانع يمنع قوة  $\overline{ح}$  من دفع نقطة  $\overline{د}$   
حتى تمس المستوى فتجذب حيثئذ جسم  $\overline{ث هـ ف}$  كله فاذن لا يحصل  
التوازن

ولابد أن تكون قوة  $\overline{ح ث}$  دائما عمودية على المستوى الثابت حتى  
لا تنصل الى قوتين احدهما عمودية يعدهما المستوى والثانية متجهة الى  
جهة ذلك المستوى من غير أن يعارضها شيء

فاذا اثرت عدة قوى في الجسم لزم أن تمر محصلتها بنقطة  $\overline{ث}$  وأن تكون  
دائما عمودية على المستوى الثابت ليبقى الجسم متوازنا دائما

فاذا فرضنا الآن أن الجسم يمس المستوى في نقطتي  $\overline{آ}$  و  $\overline{ب}$  (شكل ٦)  
لزم أن تكون المحصلة الكلية لساثر القوي المؤثرة في الجسم مخرجة الى قوتين  
توازن بالنقطتين المذكورتين

وبالجملة فليكن  $\overline{ر ر}$  هو المسقط الرأسي (شكل ٦) لمصلحة ساثر القوي

ولیکن  $\overline{أ ب و}$  المساقط الاخرى لاورضاع قطعي  $\overline{آ}$  و  $\overline{ب}$  الثابتين

ونقطة  $\overline{ر}$  التي تلاقي فيها المحصلة المستوى الثابت

فيكون إن غدا أولا من  $\overline{ب}$  و  $\overline{ر}$  مستقيم  $\overline{ب ر}$   $\overline{ث ر}$  وفعل

قوة  $\overline{ر ر}$  الى قوتين موازيتين لقوة  $\overline{ر ر}$  احدهما وهي  $\overline{ح}$  واقعة على

$\overline{ب}$  والاخرى وهي  $\overline{خ}$  واقعة على اى نقطة كانت مثل نقطة  $\overline{ث}$  من مستقيم

$\overline{ب ر ث}$  وحيث ان قوة  $\overline{ح}$  عمودية على المستوى الثابت ومارة بنقطة  $\overline{ب}$

التي يكون فيها الجسم مما ساء المستوى لا يمكن أن يتغير توازن المستوى فلم يبق

حيثئذ الا قوة  $\overline{خ}$  التي لا يدور بها الجسم الا اذا لم تكن نقطة  $\overline{ث}$  مشتركتين

هذا الجسم والمستوى الثابت مالم تكن نقطة  $\overline{ث}$  المذكورة موجودة

بين  $\bar{A}$  و  $\bar{B}$  لانهما اذا كانت موجودة خلف واحدة منهما بما قابلت الجسم الى تلك الجهة

ولنفرض جمعا مستندا من قطعه الثلاثة وهي  $\bar{A}$  و  $\bar{B}$  و  $\bar{C}$  (شكل ٧) على مستوئيات ونصل بين تلك النقط الثلاث بمستقيمات  $\bar{AB}$  و  $\bar{BC}$  و  $\bar{CA}$  فلاجل أن يكون الجسم الواقع عليه تأثير قوة ما كقوة  $\bar{C}$  متوازنا يلزم أولا أن تكون هذه القوة عمودية على المستوى الثابت وثانيا أن لا تكون النقطة التي تلاقي فيها تلك القوة المستوى الثابت موضوعة خارج مثلث  $\bar{ABC}$  لانه بدون ذلك لاشي يمنع القوة عن ايقاع الجسم من الجهة التي تكون هي موجودة فيها

فاذا كان الجسم المستند على المستوى الثابت عدة قطب دلا عن قط الارتكاز الثلاث لم أن نصل بين كل قطتين منها بمستقيم بحيث يحدث من ذلك شكل مضلع مغلق اعتلافا تاما خال عن الراوية الداخلة فيئتذ تكون شروط توازن الجسم المدفوع بالقوة هي أولا كون هذه القوة عمودية على المستوى الثابت وثانيا أن لا يكون اتجاهها الممتد الى المستوى الثابت خارجا عن المضلع المذكور

واذا اعتبرنا تناقض الاجسام عندها قرائنها بعضها وعند حساب موازالات كانت صور التوازن المتنوعة على غاية من الوضوح

وما ذكرناه في شأن الاجسام الموضوعة على المستويات يجري كله في الاجسام الموضوعة على سطوح اياما كان شكلها سواء كانت تلك الاجسام مركبة من اجزاء مستقيمة او منحنية ويلزم دائما أن تكون محصلة القوى المؤثرة في الجسم منخلة الى قوى مارة بنقط الارتكاز وعمودية على السطح الثابت وكذلك يلزم أن لا تكون هذه المحصلة مارة من خارج المضلع المتخلى عن الزوايا الداخلة الحادث من المستقيمات الواصلة بين قط الارتكاز

وفي القنون عمليات كثيرة جارية على حسب تلك القواعد \* مثلاليلزم لاجل

فوان قلم النقش عند دفعه باليد على اى سطح كان أن يوجه عموديا على هذا السطح حتى لا يترحلق وأن يكون دفع القوة في اتجاه رأسه الى سنه والواقع او ترحلق

فاذا كان الجسم مدفوعا على مستو ثابت وكان مستندا عليه باكثر من ثلاث نقط لم أن تراجع في هذه المسئلة القواعد المقررة في شأن هذا الجسم وما مثله لنعم القوانين التي يحصل بها تدارب الضغط الواقع من الجسم في كل نقطة من نقطه مع المستوي الثابت

وذلك لان هنالك صورة شهيرة تبين فيها مقدار هذا الضغط بلا واسطة وهي التي يتكون فيها من جميع نقط التماس على المستوي الثابت شكل منتظم وتكون فيها القوة الدافعة للجسم على ذلك المستوي متجهة الى جهة بحيث تمر بمرکز هذا الشكل واذا فرضنا أن الجسم متماثل بالنسبة للمستويات التي تمر على التناظر بماور تماثل المضلع او الشكل المنتظم الحادث من نقط التماس كان الضغط الواقع على كل من هذه النقط واحدا فعلى ذلك يكون الضغط الواقع على كل جزء من اجزاء سطح التماس مساويا للقوة الدافعة للجسم على المستوي الثابت مقسومة على عدد هذه النقط

ويكثر في الفنون استعمال عدة عظيمة من الاجسام الموضوعة على المستويات الثابتة في نقط موضوعة وضعا مرتبا على حسب ما تقتضيه قواعد التماثل المذكورة آنفا

وقد بسند الانسان وغيره من الحيوانات ذوات الارجل ثقل اجسامهم على ارجلهم التماثلة التي مستوى تماثلها هو عين مستوى الجسم فعلى ذلك يكون الضغط الواقع على كل رجل واحدا وفي الامور الصناعية يجعل لاجل الاشيا المستعملة ثلاث نقط او اربع من نقط الارتكاز ويطلق على اجزاء الجسم التي تباشر الارض اسم الارجل لعلاقة المشابهة بينها وبين الارجل الحقيقية لانها في الغالب تكون على صور رجل الانسان او غيره من الحيوانات وذوات الارجل الثلاث هي كاسمها آلة مركبة من ثلاث ارجل فاذا كملت

صورتهما مستوية لشروط التماثل المتقدمة كان الضغط الحاصل لكل رجل على المستوى مساويا لثالث القوة التي تدفع ذات الرجل الثلاث دفعا عموديا على المستوى المذكور والتحتات والاسرة لها ارجل اربع وهي مستوية لشروط التماثل المتقدمة وبناء على ذلك يقع على كل رجل من تلك الارجل الاربع ربع الضغط الواقع عموديا على المستوى الثابت باى قوة كانت وهنالك اشياء تحملها مستويات ثابتة على خطوط متواصلة منتظمة في صورة ما اذا استوفى الجسم شروط التماثل يكون الضغط الواقع على جميع نقط هذه الخطوط واحدا وعليه فيكون الضغط الواقع على كل واحدة منها على نسبة منعكسة عن نسبة طولها الكلى

ويستعمل في القنون غالباً سطوح الدوران وتوضع على مستوى  $م ن$  الثابت (شكل ٨) وتكون عماسة لهذا المستوى على شكل دائرة

**ا** سبب الموازنة فاذا كانت القوة التي تضغط السطح على المستوى تضغط هذا السطح ايضا على محوره كان بالضرورة الضغط الواقع على جميع نقط دائرة التماس واحدا هذا ولم تنوغل في بيان تطبيق هذه العمليات على الصناعة

ولنفرض أن جسم **ب** (شكل ٩) الموضوع على مستويين ثابتين كستوى **ا** و **٢** يكون عماسا لهما في قطعي **ب و ث** فلابد أن يكون هذا الجسم الواقع عليه تأثير قوة **ا ح** متوازنا يلزم بالضرورة ألا أن نحلل هذه القوة الى قوتين متجهتين على حسب مستقي **ح م** و **ح ن** المارين بنقطتي الاركان **ب و ث** وثانياً أن يكون **ح م** عمودا على مستوى **ا** و **ح ن** عمودا على مستوى **٢**

فاذا توفرت الشروط انعدمت قوة **ح م** بمستوى **ا** الثابت وقوة **ح ن** بمستوى **٢** الثابت بهذا يحصل التوازن

ولا يمكن حصول التوازن فيما عدا ذلك لان المقاسومة الحاصلة من كل مستوي متجهة على العمود الواصل بين قطعي ارتكاز الجسم على هذا المستوى فيلزم

هذه ان تكون المقاومتان المتجهتان بهذه المثابة موازيتين للقوة لكن لا اجل  
 وازن ثلاث قوى يلزم أن تكون من مبدأ الامر متقابلة في نقطة واحدة وعلى  
 ذلك فلا بد في سائر احوال الجسم المدفوع بقوة على المستويين المتساوية  
 في نقطة واحدة من أن يكون المستقيم الذي تؤثر فيه هذه القوة والعمودان  
 القائمان على كل من قط التماس مارة كلها بنقطة واحدة وحيث يعرف  
 الضغط الواقع على كل مستو من متوازي الاضلاع الحادث من هذه الخطوط  
 الثلاثة بأن يؤخذ على الاول منها وترسا والقوة

وفي صورة ما اذا كان الجسم مماسا لثلاثة مستويات في نقطة واحدة يلزم أن  
 تكون القوة المذكورة دائما موازنة للقوى الواقعة في النقط المتقدمة  
 على الخطوط العمودية على هذه المستويات والدالة على المقاومات المؤثرة  
 في المستويات وليس يلزم أن تكون سائر اتجاهات المقاومات متقابلة في نقطة  
 واحدة

ولنفرض جسم  $\overline{م ب}$  (شكل ١٠) الواقع عليه تأثير قوتى  
 $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  اللتين يتقابلان في نقطة  $\overline{أ}$  ويكونان متوازيتين حول  
 نقطة الارتكاز وهي  $\overline{ث}$  على مستوى  $\overline{س ص}$  الثابت ونفرض  
 ايضا بدون أن يتغير وضع نقطة الارتكاز المذكورة أن وضع  $\overline{ث أ}$   
 محتمل قليلا بأن ندير  $\overline{ث أ}$  حول نقطة  $\overline{ث}$  فاذا مددنا عمودى  
 $\overline{ث د}$  و  $\overline{ث ه}$  على  $\overline{أ ح}$  و  $\overline{أ خ}$  امكن اعتبار  $\overline{د ه}$   
 كرافعة منكسرة وبموجب ما تقر في شأن الرافعة تكون مسافة  $\overline{د ه}$  التى  
 تقطعها نقطة  $\overline{د}$  ومسافة  $\overline{ه ه}$  التى تقطعها نقطة  $\overline{ه}$  عند اختلال  
 الجسم قليلا مناسبين لقوتى  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  المقابلتين لهما بمعنى انه  
 يحدث

$$\overline{ح} : \overline{خ} :: \overline{ه ه} : \overline{د ه} \text{ ويحدث من ذلك } \overline{د ه} \times \overline{ح} = \overline{ه ه} \times \overline{خ}$$

ويمكن في هذه الصورة استعمال قاعدة السرعة المتجهة



وحيث كانت جميع الاجسام مدفوعة دائما بقوة التناقل لزم أن تكون الاجسام  
الموضوعة على المستويات مستوفية للشروط السابقة حتى تبقى على توازنها  
فاذا فرضنا أن أي قوة تقهر الجسم الموضوع على مستويات ولا تمسكه بحيث  
يبقى على توازنه لزم أن يكون هذا المستوى عمودا على اتجاه التناقل اعني على  
انحط الرأسى

ويلزم حينئذ أن يكون هذا المستوى الثابت اتصيا ليكون الجسم الموضوع  
عليه متوازنا من غير أن يكون هناك القوة تقهره او تمسكه وهذا هو السبب في كثرة  
استعمال المستويات الثابتة الاقية في القنون فمن ذلك تخشبات المنازل  
الترقيمية المستعملة عندهم بدلا عن البلاط فانها تجعل اتصية ليكون ما يوضع  
عليها من الامتعة متوازنا وكذلك الانسان فانه لا يتحرك ولا يسقط من  
جهة الى اخرى ويمثل هذا السبب جعلوا مستويات القنات والرفوف  
اقية ايضا

فاذا كانت محصلة ثقل الجسم مارة دائما بمركز ثقله لزم أن تكون مستوفية لجميع  
شروط التوازن ليكون الجسم المحلى لتناقله والموضوع على مستوائى باقيا  
على توازنه

ويبلغ من ذلك اولا انه اذا كان الجسم الموضوع على المستوى لا يمس  
الا في نقطة واحدة لزم أن يكون انحط الرأسى الممتد من هذه النقطة مارا بمركز  
ثقل هذا الجسم

وثانيا انه اذا كان الجسم الثقيل يمس المستوى الثابت في نقطتين يلزم أن يكون انحط  
الرأسى الممتد من مركز ثقل هذا الجسم مارا بالمستقيم الواصل بين نقطتي تماس  
الجسم مع هذا المستوى الثابت

وثالثا انه اذا كان الجسم الثقيل يمس المستوى الثابت في اكثر من نقطتين يلزم أن  
انحط الرأسى الممتد من مركز ثقل هذا الجسم لا يمس المستوى الثابت  
في نقطة واحدة فموضوعه خارج المضلع المثلثي عن الزوايا الداخلة للحادث من  
المستقيمت التي يصل كل واحد منها بين نقطتين من خط تلاقي الجسم مع المستوى

الثابت المذکور

ولترجع الى موضوعنا وهو ما اذا كان الجسم مستندا على قطعة واحدة ومتوازنا نقول مما يسهل علينا مشاهدته أن كل جسم كروي مثل  $\overline{AB\Gamma}$  (شكل ١١) متجانس المادة تثبت له هذه الخاصية وهي أنه اذا وضع على مستواقي كان متوازنا فيه بالضرورة لان مركز ثقل هذا الجسم يحدد بمركز شكله ويكون كل نصف قطر مثل  $\overline{B\Gamma}$  عمودا على مستوى  $\overline{MN}$  الافقي الذي يمر الكرة في قطعة  $\overline{B\Gamma}$  فاذن يكون مستقيم  $\overline{B\Gamma}$  عمودا على المستوى  $\overline{MN}$  الافقي رأسيا وحيث أن تكون قوة  $\overline{B\Gamma}$  المكافحة لتأثير ثقل هذا الجسم على  $\overline{MN}$  مستوية لساكن الشروط التي لا بد منها في التوازن

ولناخذ جسما مثل  $\overline{AB\Gamma}$  (شكل ١٢) له صورة كالمسحقة يكون حادثا من دوران قطع ناقص حول محوره الكبير فاذا وضع هذا الجسم على مستواقي بحيث يكون المحور الكبير وهو  $\overline{AB}$  اقويا كان التوازن حاصلًا لان  $\overline{B\Gamma}$  الذي هو مركز ثقل هذا الجسم المتجانس المادة فرضا يتحدد بمركز شكله كما في الجسم الكروي ويكون خط  $\overline{B\Gamma}$  الرأسي الممتد من المركز مارا بنقطة  $\overline{B\Gamma}$  التي يكون فيها الجسم كاملا بالمستوى الافقي ويحصل التوازن ايضا اذا وضع جسم  $\overline{AB\Gamma}$  على وجه بحيث يكون المحور الكبير وهو  $\overline{AB\Gamma}$  (شكل ١٣) رأسيا لان محصلة ثقل هذا الجسم اذا كانت مارة بمركز  $\overline{B\Gamma}$  كانت مارة ايضا بنقطة  $\overline{A}$

ولكن هنالفرق ظاهرين خالقي التوازن وهو انه اذا تغير وضع هذا الجسم قليلا (شكل ١٢) فتمزله فورا حتى يصل الى الوضع الذي يحصل فيه التوازن واذا تغير وضع الجسم (شكل ١٣) قليلا تباعد عنه شيئا شديدا حتى يستقر

وقد يكون التوازن الاول ثابتا والثاني غير ثابت ويكنى بالثابت وغير الثابت

عن القوة التي تقرب بها الاجسام او تبعد من اوضاع توازنها عند تحولها عن تلك الاوضاع

(ويمكن بواسطة ما استقناه من النتائج حل هذه المسئلة وهي أن ترض جميع  
بجسي ا ب ث و ا ر ث (شكل ١٦) فوازنهما غير ثابت

وموضوعين على مستوى م ن بحيث يكون خط ا غ و ا ح  
رأسين والمطلوب تفصيل الشروط التي لابد منها في توازن هذين الجسمين  
المضربين عن وضع توازنهما وان كانا مستدين على بعضهما في نقطة ك  
فلاجل مزيد السهولة نفرض أن هذين الجسمين متساويان بالكتلة وأن ميلهما

واحد وليكن ح رمز القلما

فيكون كل منهما عامالا ا خر على مستور ا م ن ويحدث من كل منهما على الآخر

ضغط واحد كضغط س = م وليكن الآن غ ه و غ ه

هما الرأسان التازلان من قطبي غ و غ التين هما مركزا ثقل هذين

الجسمين وليكن ث و ث هما قاطنا ثلاثيهما مع مستوى م ن

فيكون مقدار ح بالنسبة الى جسم ب ث د هو ح × ث ه

وبالنسبة الى جسم ر ث د هو ح × ث ه وهذان المقداران

متساويان لكن حيث ان س و م هما كتابة عن الضغط الحاصل

من ك من الجسمين على الآخر فاذا اخذنا من قطبي الارتمكاز وهما

ث و ث عمودي ث س و ث م على هذين الجسمين حدث

س × ث س = م × ث م وهو المقدار المتصل من هذا

الضغط

وحيث نلزم أن يتصل في حالة التوازن

ح × ث ه = س × ث س = ح × ث ه = م × ث م

فاذا كانت الاجسام ثلاثة فان حل المسئلة يكون على الوجه السابق بأن

نجعل مقدار ح × ث ه الذي هو مقدار كل جسم منها متوازنا مع

الضغط الحاصل من كل من الثلاثة على الآخرين  
ويحل العساكر هذه المسئلة بوجه آخر على وذلك انهم يضمون ثلاث بنادق  
الى بعضها فاذا توازن كل منها على  $\theta$  التي هي زاوية الكعب لم يكن توازنه  
ثابتا بخلاف ما اذا تقاطعت السنج بحيث يحصل من طرف كل منها ضغط  
على الآخرين فان التوازن يكون ثابتا وحساب الضغط الحاصل من كل  
بنادقة على الآخرين ليكون التوازن حاصل في هذا الوضع هو على غاية من  
(سهولة)

ولنختبر قياس القوة التي توصل الجسم المقروض الى حالة التوازن وتبعده  
عنها بان نبدأ بالوضع الاول فنقول اذا فرض أن محور  $AB$  الكبير يميل  
قليلا كما في (شكل ١٤) بحيث لا يكون عماسا للمستوى الافقي في نقطة

$\theta$  وانما يكون عماسا في نقطة  $\delta$  فلا يكون حيث  $\theta$   $\theta$   $\theta$   
اتجاه محصلة ثقل الجسم بل يكون اتجاها هو  $\theta$   $\theta$   $\theta$

فاذا اثرت الآن قوة  $\theta = \theta$  في جسم  $AB$  وادارته حول  
نقطة الارتكاز وهي  $\delta$  بواسطة ذراع رافعة يساوي  $\delta$  فان المقدار

الذي به يحتمل ثقل الجسم جزء  $\theta$   $\theta$   $\theta$  ويرفع جزء  $\theta$   $\theta$   $\theta$   
يساوي  $\theta \times \delta$  لكن حيث كان  $\theta$  الذي هو ثقل الجسم باقيا على  
حالة واحدة فكلماتنا على الجسم المذكور عن الوضع الاصل  $\theta$   $\theta$   $\theta$  وكلما كبر  
مقدار  $\theta \times \delta$  فان الجسم حيث  $\theta$  يعود مع الشدة الى وضعه الاصل فاذا  
خلى وقته وصل بطبيعته الى الوضع الذي يكون فيه متوازنا وهذا التوازن  
هو المعروف بالتوازن الثابت

فاذا تقاسم  $\theta$   $\theta$   $\theta$  الى  $\theta$   $\theta$   $\theta$  حتى يصل الى المستقيم  $\theta$   $\theta$   $\theta$   
الذي هو رأسي في وضع التوازن ثم مدنا خط  $\theta$   $\theta$   $\theta$  الافقي حدث  $\delta$   
 $\theta \times \delta$  فعلى ذلك يكون  $\theta \times \delta$  مساويا للمقدار الذي  
ياخذه الجسم وضعه الاصل واذا فرضنا أن زاوية  $\theta$   $\theta$   $\theta$  صغيرة

جدا يمكن أن نعتبر أن  $\overline{غ غ}$  مساو للقوس المرسوم بنصف القطر وهو

$\overline{و غ}$  بين  $\overline{و غ ث}$  و  $\overline{و غ د}$  من نقطة و المتبركة مركزا

ثم ان نقطة و هي التي تعرف عند المهندسين بنقطة مركز انصباب الجسم

بجسم  $\overline{ا ب}$  فلي ذلك اذا كان التوازن ثابتا كان مركز الانصباب

فوق مركز الثقل دائما وفي صورة ما اذا كان لميل الخط الرأسى الجديد وهو

$\overline{و د}$  على الخط الرأسى الاصلى وهو  $\overline{و ت}$  درجة ثابتة يكون قوس

$\overline{غ غ}$  مناسب النصف القطر فاذن يكون مقدار  $\overline{ح خ} \times \overline{غ غ}$

مناسبا ايضا لنصف قطر  $\overline{و غ}$  ومساويا لبعده مركز الثقل ولر مركز الانصباب

وحينئذ يؤخذ من هذا البعد قياس ثبات الاجسام

ولنتكلم على الوضع الثانى فنقول اذا فرضنا انه بعد وضع جسم  $\overline{ا ب}$

على  $\overline{ا}$  التي هي طرف محوره الاكبر انحراف عن وضع قوازه قليلا كما في

(شكل ١٥) التي فيه نقطة  $\overline{د}$  الجديدة هي نقطة تلاقي الجسم مع

المستوى الاتقى فاذا مددنا خط  $\overline{غ د}$  الرأسى فانه يقع خارج قطبي

$\overline{ا}$  و  $\overline{د}$  ويحدث معنا لقياس القوة التي بها يجذب ثقل  $\overline{ح}$  الجسم

حتى يسقط هذا المقدار وهو  $\overline{د ه} = \overline{ح خ} \times \overline{غ غ}$

وفي هذه الصورة كالتي قبلها اذا كانت زاوية  $\overline{غ و غ}$  صغيرة جدا يمكن

أن نعتبر أن  $\overline{غ غ}$  قوس مركزه نقطة و فيكون حينئذ نصف قطر

$\overline{و غ}$  مناسب البعد  $\overline{غ غ} = \overline{د ه}$  بالنظر لميل محور  $\overline{ا ب}$

بالسبة لخط الرأسى

ونقطة و المعروفة بمركز الانصباب في هذه الصورة تكون تحت مركز الثقل

لا فوقه

وبالجمله تبعدها عن مركز الثقل يستعمل لقياس عدم ثبات الاجسام الثابتة

كما استعمل في الصورة السابقة (شكل ١٤) في قياس ثبات جسم

$\overline{ا ب}$  الموضوع على مستوى  $\overline{م ن}$

فاذا اتحد مركز الاصاب وهو  $O$  بمركز الثقل وهو  $G$  لم اتحد خطى  
 $OD$  و  $OG$  الرأسين ببعضهما الا انه في هذه الصورة يكون الخط  
 الرأسى المار بمركز الثقل المذكور مارا ايضا بنقطة الارض كزوى  $D$  وينعدم  
 بعد  $D$  وعليه فيكون مقدار  $OG \times OD = 0$  فاذن لا يكون  
 هناك جهد يتحرك به الجسم فيبقى متوارنا

وبالجملة فمضى اتحد مركز الاتصاب بمركز الثقل كان التوازن باقيا على حاله بعد  
 انحراف الجسم ويسمى التوازن في هذه الحالة بالتوازن الموافق فاذا كان  
 مركز الاتصاب فوق مركز الثقل فان الجسم اذا اختل وضع توازنه يعود الى  
 وضعه الاول فيكون التوازن حينئذ ثابتا واما اذا كان تحت فان الجسم  
 اذا اختل وضع توازنه يبعد عن هذا الوضع شيئا فشيئا ويكون التوازن حينئذ  
 غير ثابت

وفي جميع هذه الاحوال يكون قياس الثبات او غير الثبات معلوما من حاصل  
 ضرب ثقل الجسم في بعد مركز الثقل عن مركز الاتصاب المعتبر هنا مركز الانحناء  
 فوس  $AD$  المرسوم على الجسم بين  $A$  و  $D$

وبذلك تكون خواص ثبات الاجسام المتحركة على المستويات الثابتة من  
 قبيل خواص انحناء السطوح (كما تقدم في الدرس الخامس عشر  
 من الجزء الاول) واذا كان الابتداء من نقطة ثابتة كان انحناء الجسم متماثلا  
 بالنسبة لاتجاهين عمودين على بعضهما وكان ثبات الجسم على مستواين  
 متماثلا ايضا بالنسبة لاتجاهين عمودين على بعضهما وكان احدهما لاتجاهين  
 هو اتجاه الثبات الاكبر والاتجاه الثبات الاصغر وكان الثباتان  
 المتوسطان متساويين متى كانا مأخوذين بالنسبة لمحورين اقيين ويجتث  
 بينهما وبين اتجاه الثبات الاكبر زاويتان مساويتان للزاويتين الواقعتين  
 بينهما وبين اتجاه الثبات الاصغر وهما  $BA$

ويؤخذ من هذه المسئلة النظرية المتعلقة بثبات الاجسام المتحركة قليلا عن  
 وضع توازنها تطبيقات مهمة تتعلق بجميعة الاهالى ورتبهم وشرف الدولة

وقوة شوكتها من ذلك السفن التي يصكون توازنها ثابتا على البحر فانها تسير  
امنة لاجل جلب ادوات الصناعة او الذب عن الوطن بخلاف ما اذا كان  
توازنها غير ثابت فانها ربما اهتلت وصار عاليها سافلها وانما صحت في قاع البحر  
من فيها من الملاحين والعساكر ولنظرية ثبات السفن مزيد تعلق بالقواعد  
التي ذكرناها اتقا غير ان كمالها يتوقف على قواعد اخرى مبنية على قوة السوائل  
(راجع مجت القوى المحركة في الجزء الثالث من هذا الكتاب)

ولما انتهينا الكلام على توازن الجسم فوق المستوى الافقي وجب ان نشرع  
في الكلام على توازنه فوق المستوى المائل المعروف في اصطلاحهم بالمستوى  
الذي ليس اقويا ولا رأسيا فنقول

يقاس ميل هذا المستوى بالزاوية الحادثة منه مع المستوى الافقي وبموجب  
الهندسة (كافي الدرس السابع من الجزء الاول) يتوصل الى قياس تلك  
الزاوية الحادثة من المستويين المذكورين بقياس الزاوية الحادثة من خطين  
مستقيمين احدهما على المستوى الافقي والثاني على المستوى المائل وكلاهما  
يمتد من نقطة واحدة تمتد اذا عموديا على تقاطع المستويين

ولنجعل خط م ن الافقي كناية عن المستوى الافقي (شكل ١٧)  
ومستقيم ا ث كناية عن المستوى المائل وهذان الخطان يحدث عنهما  
زاوية بمائلة للزاوية الحادثة بين المستويين المذكورين

ونضع جسم ا ب على ا ث فان لم يكن هناك قوتا جاذبية  
تمسكها من حل قله وهو غ ح الى قوتي غ خ و غ ح اللتين  
احدهما موازية للمستوى المائل والاخرى عمودية عليه وينعدم تأثير القوة  
الثانية اذا لم يقع عمود غ ح خارج المضلع الحادث من وصل نقط التماس  
بعضها بواسطة خطوط مستقيمة فيمكن حينئذ ان يطبق على تلك القوة سائر  
ما ذكر في شأن التوازن الثابت وغير الثابت والموافق المتعلق بالاجسام المستندة  
على المستويات الالهية

واما قوة  $\overline{غ\ ح}$  فحيث انها مؤثرة بالتوازي لمستوى  $\overline{ث\ أ}$  لا يحصل لها مقاومة مامن هذا المستوى فان لم تكن هناك قوة اجنبية تعارضها زحلت الجسم على طول المستوى المائل

ثم ان نسبة المسافة التي يقطعها هذا الجسم على المستوى الى المسافة التي كان يقطعها في زمن واحد عند سقوطه بلامعارض على  $\overline{غ\ ح}$  كنسبة قوة  $\overline{غ\ ح}$  الجاذبة للجسم بالتوازي لمستوى  $\overline{ث\ أ}$  الى قوة  $\overline{غ\ ح}$  الجاذبة له جذبا رأسيا

واما ان تحرك الجسم بواسطة قوة  $\overline{غ\ ح}$  او كان ممكنا بقوة  $\overline{غ\ ح}$  المساوية لهما والجاذبة له في جهة مقابلة لجهتها فانه متى اريد حصول التوازن يلزم ان يكون عود  $\overline{غ\ ح}$  واقعا على النقطة التي يكون فيها الجسم مماسا لمستوى  $\overline{ث\ أ}$  المائل اذا لم يكن هناك الا نقطة تماس واحدة فاذا كان هناك عدة نقاط لم يقع ذلك العمود في المضلع الخالي عن الزوايا الداخلة الحادث من وصل كل نقطتين من النقاط التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى المائل وهذه القضية النظرية لها فائدة عظيمة في تطبيقها على ثبات العربات الساكنة والمتحركة

واذا كان جسم بجسم  $\overline{غ}$  (شكل ١٨) متوازنا على مستوى  $\overline{ث\ أ}$  المائل بواسطة قوة واحدة كقوة  $\overline{غ\ ح}$  الموازية لهذا المستوى لم اولا عند تحليل  $\overline{غ\ ح}$  الذي هو ثقل الجسم الى قوة  $\overline{غ\ ح}$  و  $\overline{غ\ ح}$  ان قوة  $\overline{غ\ ح}$  المؤثرة بالفرص في  $\overline{ث\ أ}$  تأثيرا عموديا يجعل ذلك الجسم المجرى عن التناقل بالفرص متوازنا على  $\overline{ث\ أ}$  وثانيا ان قوة  $\overline{غ\ ح}$  تمر بمركز الثقل وهو  $\overline{غ}$  فيحدث اذئ هذا التناوب وهو

$$\overline{قوة\ ح} :: \overline{قوة\ غ} :: \overline{غ\ ح}$$

فاذا مددنا  $\overline{ن\ و}$  عمودا على مستوى  $\overline{م\ ن}$  الاقي كان مثلثا  $\overline{ان\ و}$  و  $\overline{ح\ غ\ ح}$  متشابهين ويحدث من ذلك هذا التناوب وهو



$$\overline{\text{او}} : \overline{\text{ن و}} :: \overline{\text{غ ح}} : \overline{\text{غ غ}} = \overline{\text{غ غ}}$$

اعني أن نسبة ثقل الجسم الى قوة  $\overline{\text{غ غ}}$  الموازنة له كنسبة او الذي هو طول المستوى المائل الى  $\overline{\text{ن و}}$  الذي هو ارتفاعه

واذا كانت قوة  $\overline{\text{غ غ}}$  (شكل ١٩) اقوية لزم أن تكون  $\overline{\text{غ غ}}$  التي هي محصلة قوتي  $\overline{\text{غ غ}}$  و  $\overline{\text{ع ح}}$  مارة بنقطة  $\text{ح}$  التي يجاس الجسم فيها المستوى فيحدث من ذلك هذا تناسب وهو  $\overline{\text{ع ح}} : \overline{\text{غ غ}} = \overline{\text{ع ح}} :: \overline{\text{م ن}} : \overline{\text{ن و}}$  اعني أن نسبة ثقل الجسم الى القوة الموازنة له تكون كنسبة قاعدة المستوى المائل الى ارتفاعه وهذه القضايا السهلة يكثر استعمالها في علم الميكانيكا

ولنصم هذا الدرس بيذة مختصرة ملخصة من رحلاتنا الى ابريطانيا الكبرى تتعلق بالقوة التجارية والطرق السلطانية اتينا فيها بما لا بد منه في سكك الحديد ذات الاخاديد والمستويات المائلة المستعملة في ابريطانيا الكبرى لانه لا مانع من ان هذه السكك والمستويات المائلة تكون عظيمة الجدوى في المعامل المعتدة للصناعة بمملكة فرنسا فنقول

ان صناعة سكك الحديد ذات الاخاديد منحصرة في صورتين متباينتين تباينا كلياً احدهما أن يكون الثقل حاصل على اتجاها واحد والثانية أن يكون على اتجاهاين متقابلين

واسهل ما في الصورة الاولى أن ترفع الاجمال المعتدة للثقل رفعا رأسيا بواسطة الاكالات حتى تصل الى رأس السكة المائلة وهو رأس لاتبجازه العربات بل نأخذ في الهبوط عند الوصول اليه

فاذا كان المطلوب هبوطها لاجل توصيل اجمالها الى التهرات او الخلبان او السكك الكبيرة سواء كانت المسافة كبيرة او صغيرة فانه بواسطة السكك المطروقة ذات الاخاديد يسهل الثقل مع حصول الفائدة \* والكيفية الناجحة في ذلك أن يعطى ما يلزم من الاخشاب للتجارة والعمارات الداخلية التي تكون

في الاماكن المرتفعة البعيدة جدًا عن التهر حتى يتأتى بواسطة السكك ذات  
الاخاديد من غير احتياج الى كثرة الرياح الطيبة وصول تلك الاخشاب الى  
البلدان وعمومها فيها وهذا من الاغراض المهمة جدًا في القوة والتجارة  
البحريتين وفي كثير من فروع الصناعة الفرعية

ثم ان اتفق الانحدارات واكثرها ملائمة للسكك ذات الاخاديد هو ما لا يمنع  
العربات الموسوقة من اخذ تحرك منتظم بواسطة تأثيراتها الاخرى فاذا سار  
القرس في هذا الانحدار وكان يجترق ارامن العربات لم يخرج في ذلك الا الى  
القوة اللازمة للطرف يا نرسى الجسمات التي تعلقها بالموانع الصغيرة التي تحدث  
عما يكون في سكة الحديد من الخشونة والتضاريس الهينة الخفيفة

ويفي أن يكون عدد العربات الموسوقة التي يجترقها القرس مساويا لعدد  
العربات الكثيرة الفارغة التي يصعد بها على تلك السكة وعلى ذلك فكلما كبر  
ميل السكة قل هبوط القرس بالعربات في كل مرة من سيرة ويؤخذ من ذلك  
أن هناك انحدارا اتفق مما عدها من سائر الانحدارات وهو ما استعملت فيه  
قوة القرس كلها صعودا وهبوطا بدون تلف شيء وكلما تقلت العربات الموسوقة  
لزم أن يكون الميل الذي يبتدى فيه بالهبوط بنفسها قليلا وأن يكون عدد  
العربات الفارغة التي يصعد بها القرس الى هذا الميل كثيرا وحيث قد فاستعمال  
العربات الكبيرة في هذه الصورة أكثر تعاوتا فائدة كعربات ضواحي مدينة  
نوكاستل التي كل واحدة منها تحمل ٢٠٥٠٠ كيلو غرام ويزن ثقلها ١٠٥٠٠

كيلو غرام فهي اولى من عربات ضواحي مدينة جلامغوف التي لا تحمل كل  
واحدة منها الا ٦٠٠ كيلو غرام ولا يزن ثقلها الا ٣٠٠ كيلو غرام

وصندوق هذه العربات (اي عربات نوكاستل) على شكل هرم ناقص مربع  
مخروط ومكشوف من اعلاه وعرض قاعدته السفلى ٦ و ١ وطولها ٢  
وطول قاعدته العليا من ٨ و ٢ الى ٣ وعرض كل ضلع من اضلاع

المائلة على الافق بقدر ٥° تقريباً يبلغ ٦ ر ١ ويوجد في عمق العربية طاقة معدة لتفريغ وسقها وهي موضوعة في طرف العربية المقابل للسفن التي يراد وسقها وعليها قدمان من الحديد لاجل سدها يدوران بواسطة لولب وينزلان على الواجهة المائلة التي تكون في مقدم العربية فيشتبك ههنا البرزتين اوسمارين معوجين فاذا اردنا غلق تلك الطاقة ادخلنا شوحيه صغيرة في حلقى الرزتين فاذا اخر جناها وخلصنا قدس الحديد اتقيت بسبب تأثير وسقها وهبط ذلك الوسق بين عجلاتها الاربع

وهناك طاقات في مقدم العربية ومؤخرها معدة لربط حبل الشد بها اذا اريد ذلك وقطر عجلات الحديد الصلب يبلغ ٦ او ٧ دسجترات وعرضها الافقى ١٥ او ١٦ دسجترا وبها انشاء داخل دائمي في سكة الحديد وعرض السكة ١٤ او ١٥ دسجترا

ولذلك لا تنحرف من خواص السكة ذات الاخديد الشهيرة التي توصل الى شواطئ نهر الوار بقرب سودرلند فنقول ان معدن الفحم الذي هو مبدأ تلك السكة بعيد عن المكان الذي ينزل منه الى السفن بقدر ١٠ كيلومتر تقريباً ولا يوجد في سائر امتداد هذه الارض التي تقطعها العربية انحدارات عظيمة وانما كان هناك تلال تعارض العربات قليلاً فاحدثوا بها مسلكاً لاجل المروءة هذه السكة توصل الى ساحل مضدر يكسفنهر الوار بواسطة جسر افقى متمجه الى الطبقة الاولى من مخزن متسع مبنى في اعلى هذا الساحل وطول هذا المخزن تقريباً ٥٠ وعرضه من ٢٥

الى ٣٠ وينيز ارتفاعه عن الاستواء للتوسط من مياه النهر بأربعين متراً فأكبر وهو مركب من ثلاثة اجزاء طولية متفرقة عن بعضها بصفي من الاعمدة وكل من سطوح الطبقة الاولى الثلاثة يتصل به سكة من الحديد وكل سطح منها يمتد من اول المخزن الى آخره واول باب المخزن على بعد واحد من بعضها مفتوحة

بين مساند الحديد الموجودة بهذه السكة فاذا اتت العربات موسوقة بالمعدن  
دخلت في الطبقة الاولى منه ثم تذهب الى المسطحات المستديرة المنخفضة التي  
كل مر كمن مر اكرها على سكة من سكة الحديد الثلاثة فقال ميلا خفيفا نحو  
الربع على تلك المسطحات المستديرة ثم يجزها العربي على السكك الطولية من  
هذه الطبقة حتى تصير مسامنة لاحد الابواب لاجل تفريغ الفحم المطلوب  
في أي مكان من الارض وكل جزء من الاجزاء الثلاثة الطولية من تلك الارض  
محتوى على سكة جديدة من الحديد عبودها اول المخزن ونهايتها نهر الوار ومن  
هذه السكك الثلاثة سكان يجتمعان عند اقصالهما عن المخزن ويصيران سكة  
واحدة وبعد ذلك يختلطان بالثالثة ويصير الجميع سكة واحدة ثم تنقسم هذه  
السكة الى فرعين يختلطان ببعضهما قبل اتهاهما وبعد أن تصل العربات  
الموسوقة الى مبدأ الانحدار تمر على قنطرة يبلغ اقراجها مائة متروهي  
مؤسسة على مجرى عميق ثم تجتاز صخرة يبلغ امتدادها اربعين مترا تقريبا  
وسكة الحديد في ذلك كله مركبة من قضبان مسجرة في عتق خشاب كالشبابيك  
طولها عشرون مترا

والقنطرة المذكورة متخذة من الخشب ومؤسسة كما تقدم على الجرى وجامعة  
بين الصلابة والخفة وهي كآية عن صوارمغروسة في الارض غرسا رأسيا ومن  
حوارص ومساند مائلة لتكون صلبة متينة وسطحها مركب من قطع طولية  
مغطاة بخشاب السفن القديمة الغير المستعملة

فاذا كانت احدى العربات صاعدة والآخرى هابطة تلاقيا في منتصف السكة  
وهذا اذا لم يكن هنالك الا سكة واحدة واما اذا كان هنالك سكان فان احدهما  
تسلق سكة غير التي تسلكها الاخرى حتى لا يتعارضا ثم تسلك كل واحدة منهما  
السكة التي تركتها الاخرى

ويضلل المسافة التي بين السكتين ملتان محورها الافقي عمود على انحاء السكة  
وبهذه الملتان جبل معد لحفظ العربات عند الهبوط ولشدها عند الصعود  
وفي اسفل الطريق تصل العربات الى سطح فوق المكان الذي تكون به السفن

المطلوب ومقها لحما ويختصف سكه الحديد ثلاث فريجات وهي اقواء لقناع  
من حديد مائله بقدر ٤٥ تقريبا  
والجزء الاسفل من القمع يتحرك حول لولب افقي يضمه الى الجزء الاعلى منه  
واما اثنا آت الجزء المتحرك فهي متعشقة باثنا آت الجزء الثابت وبذلك  
لا يسقط القمع الى جهة اليمين ولا الى جهة الشمال ولا جل غلق الجزء الثابت من  
القمع يستعمل حاجز رأسى فيرفع او ينخفض اذا اريد ذلك بتأثير الرافعة وذلك  
انه يوجد في كل من طرفي القمع عيارات تؤثر من اعلى دربريز من الخشب  
قريب من سمت الحاجز واما الحبل المعد لحفظ كل عيار فهو ملتف على اسطوانة  
تجنون موضوع على الدربريز به يرتفع الجزء المتحرك من القمع او ينخفض  
وبهذه الكيفية يوضع دائما الطرف الاسفل من الجزء المتحرك على بعد ملائم  
للفرجة التي توسق منها السفن سواء ارتفعت السفينة بالمداد وانخفضت بالجزر

(بيان للمستويات المائله)\*

تطلق هذه المستويات على اجراء السكه ذات الانحدار العظيم المحتاج الى اعانة  
الآلات لاجل صعود العربات او هبوطها وصناعة هذه المستويات مشابهة  
لصناعة الاجراء الاخر من سلك الحديد ذات الاحاديد  
ولنذكر لك هنا طريقة ميكانيكية يعرف بها صعود العربات على المستويات  
المائله الموجودة بضواحي مدينة نو كاستل يبلاد انكلترة فنقول

يوجد في اعلى المستوى المائل مكان صغير مكيمن حائطين احدهما عن يمين  
السكه والاخرى عن شمالها وعليهما سقف وفي داخلهما تحت هذا السقف طارة  
كبيرة من الخشب اقفية موضوعة على شواح متعززة وبها حلق ملتف عليه  
حبل ليس مغرطافى الطول بل بقدر المسافة التي تقطعها العربة الموسوقة عند  
هبوطها او يوجد تحت هذا الحبل على محيط الطارة الحاجز المعروف بالزامام وهو  
اقرب شها زمام طواحين التملنك الذي يمكن للانسان وحده أن يحركه بواسطة  
رافعة وهذا الحاجز مربوط على ارتفاع لا تقبل سلاسل رأسية معلقة بشواحي  
المكان المذكور ومنى وصلت العربة الموسوقة الى مبدأ الانحدار وجد العرجي

هناك عدة أخرى فارغة قريبة منه جداً فيك حيثند طرف جبل الشد الذي كان اعته لصعود هذه العربية الفارغة ثم قوت الجمالة التي بهذا الطرف من يد الحديد الثابت خلف العربية الموسوقة المطلوب هبوطها وقبل تقيم هذه الاعمال تأتي عدة فارغة من المحل الذي هو مبدأ السير الى اسفل الانحدار فيجد العربي هناك عدة موسوقة فيفكها ويربط بها فرسه ثم يربط جبل الشد في العربية الفارغة ويسير فإذا انقضى هذا العمل دفع العربي يده عربته الموسوقة فتأخذ في الهبوط على الانحدار فعند ذلك يصعد فوراً مع النشاط على إحدى جهات هذه العربية فأبضا على الرافعة المجهزة زماماً لأحدى العجلات ويوجد في أصغر أطراف هذا الرافعة قوس دائرة من الخشب نصف قطره كنصف قطر العجلة التي تحتك عليها هذا القوس عند اذاعة بطي سير العربية ومنع سرعتها فإذا وصل العربي الى اسفل الانحدار نادى بأعلى صوته الوقوف الوقوف فعند ذلك يحررك المتوط بالزمام الأكبر هذا الزمام تحت المكان المتقدم ذكره ويجري ذلك في كل عربتين احدهما فارغة والاخرى موسوقة

وعلى ما ذكرناه من القواعد يلزم أن القوس المعدلخر العربات على سكة الحديد يذلل جميع قوته عند صعوده عند عربات فان كانت صورة الارض تقتضي تغير الانحدارات وتتوعدا الزم أن تعمل على وجه بحيث يكون ملائماً لهذه العدة وعلى ذلك فلا بد أن تكون سكة الحديد ذات الاساديد مركبة من خطوط مستقيمة يتألف منها مضلع مستو او من خطوط منحنية متصلة الانحدار في جميع طولها وحيثند يمكن بواسطة التجارب العصية أن تعين درجات الميل المتنوعة التي يلزم أن يكون السير بحسبها

ولاجل عدم ضياع الزمن بلا فائدة في ربط التحليل وحطها يلزم أن يكون لكل فرع ثابت الانحدار من سكة الحديد طول يكتفي في تغيير التحليل ولا بد أن يكون عدد التحليل المعتدلة لنقل على نسبة منعكسة من عدد العربات الفارغة التي تصعد هي بها ومن الزمن التي تستغرقه مدة التغير المذكور في حالتي الذهاب والاياب فهذه

الكيفية تقطع العربات المتعددة جميع فروع السكة في وقت واحد ولا تحتاج  
الخليل ولا العربية الى التاني السابق او اللاحق  
ويانم مزيد الاهتمام وفرط الاعتناء في عمل سكة الحديد بحيث لا يحصل عند  
الصعود عليها هبوط الا اذا كان المحل يقتضي ذلك وطريق اجتناب هذا  
الهبوط الحاصل عند الصعود ان تقيم في الوديان الضيقة العميقة تخنيبات  
صلابة تخفية على شكل القناطر الحقيقية ويصنع على سطحها الافق سكة الحديد  
ذات الاحاديد

ويسهل عمل تلك السكك على قناطر معلقة بسلامل من حديد  
(وقد ذكر المهندس استوانسون ان البحارى الضيقة العميقة المتقاطعة فيما يصنعها  
من سكك الحديد يمكن اجتنابها بواسطة مربع من الخشب توضع عليه العربات  
فيسير بها الى جهة الامام بواسطة البكرات على طول المستوى المائل المركب  
من سلامل او قضبان من الحديد ممتدة من احد شاطئى البحرى الى الآخر)  
واذا كانت الارض مرتفعة قليلا فانه يمكن عند اقتضاء الحال عمل سكك احذية  
او احداث اما كن لتغيير الخليل يكون اتحدارها ثابتا وذلك اما بواسطة الحفر  
والردم بطريق مضبوطة لاجل اختصار طول الطريق واما بواسطة عمل  
انعطافات وتعاريج كثيرة يتحقق فيها شرط التصرف الاصغر في عمل السكة  
لتعلم فائدة النقل قبل حصوله ويجرى في هذه الصورة القواعد المقررة في غيرها  
من سائر انواع السكك

وهناك صورة تخص سكك الحديد ذات الاحاديد المعدة للنقل في اتجاه واحد انما  
وهي انه بواسطة المستوى المائل يمكن رفع الاجال فوراً الى الارتفاع المطلوب  
الذى يعقبه هبوطها الى المحل المراد وصولها اليه على اقصر اتحدار  
فانما كانت كمية النقل الكلية واحدة في الذهاب والاياب لزم عمل الاتحدارات  
على وجه بحيث تكون مساعدة للبهتين ويشترط في ذلك شرط لا بد من تخفقه  
هنا وهو ان يختص التقط العليا ولطف المستويات المتتالة من غير أن يكون  
ذلك سببا في طول سكة الحديد طولاً مفرطاً ولا في كثرة المصاريف وقد جرت

العادة بعمل سكتين متجاورتين من ذوات الاخاديد احدهما للذهاب  
والاخرى للاياب

ولنشرع الآن في الكلام على صناعة سكك الحديد ذات الاخاديد فنقول انها  
تقسم باعتبار اخاديدها الى قسمين احدهما الترام وى او البلاوى وهو  
ما تكون فيه الاخاديد مسطحة ومركبة من قضبان من حديد الصب اى الزهر  
وفوقها انشاء بارز على طواها من خارج وتحتها حرف بارز يكسب القضيب قوة  
كافية لحمل ثقل عجل العربات من غير أن يعرض له كسر وذلك أن هذه العجلات  
الاسطوانية تقف على الاخادود والقسم الثانى الادح وى وهو ما تكون  
فيه الاخاديد مجوفة ومركبة من قضبان متلاصقة غليظة ومستديرة من  
اعلاها لانه يوجد في عجلات العربات حلق يخلق البكر يشتبك به القضيب  
من طرفه المستدير فاما الاخاديد المسطحة فينشأ عنها مضرة عظيمة وهي ازدياد  
الاحتكاك لزيادة مفرطة عند ملاقات الارض لان ما يتعلق بالهجلة من التراب  
والرمل والخصى يتساقط ويقف في الاخادود المسطح واما الاخاديد المجوفة  
فلا يوجد فيها هذه المضرة فهي لعدم المانع قابلة لحمل الاثقال الكبيرة ومقدمة  
على غيرها في الاشغال الجسيمة وعليها جرى العمل في بلاد غالة واما في ضواحي  
مدينة وكاستل فيستعمل فيها المسطحة كالمجوفة وقضبان الاخاديد المجوفة  
تتخذ من الحديد المطرق وعرض كل قضيب ٤ سنتيمتر وسمك الرأس الذى هو  
أكبر من العرض دائما يكون مناسباً لوضع عليه من الاحمال وليست فائدة  
الاخاديد المجوفة هو مجرد تقليل الاحتكاك بل يضاف الى ذلك ايضا مقاومتها  
للأحمال العنيفة وليس ذلك موجودا في المسطحة نظراً لصورتها ولكنها تكون موادها  
أقرب للتلف من الاولى

وقد ذكر المهندس استرانسون ان السكة ذات الاخاديد المجوفة التى تحمل  
عربة يرميلين تكون زنة حديد هاستين كيلو غراماً عن كل متر من  
الاخادود المزودج بعد اقتضاء عمله ويكفى ايضا ما دون ذلك غير أن السكة  
السلطانية يلزم أن تكون صلبة اخاديدها بقدر الحاجة حتى لا تحتاج الى ترميم



يؤدى الى زيادة اجرة العملة عن مقدارها الاول

ويكنى على ما ذكره المهندس علياس أن يكون طول كل قضيب من قضبان  
الاخاديد المسطحة ٢٠ ر<sup>١</sup> وأن تكون زنة كل قضيبين مع مسنديهما من  
٤٠ كيلوغراما الى ٥٠ ويكنى ايضا في السكك ذات الاخاديد المجوفة  
المعدة لسير العربات الكبيرة أن تكون زنة كل قضيبين مع مسنديهما من ٤٠  
كيلوغراما الى ٥٠ واما في المسطحة المعدة للنقل في عربات صغيرة فجزءها  
الليول فيكنى أن تكون زنتهما مع المسدين ٢٥ كيلوغراما ويكنى ١٨  
فيما اذا كانت تلك العربات يجزها العربية

(وما ذكره هذا المهندس في تحديد طول القضبان يختلف باختلاف الاماكن  
وانواع النقل وقد ذكر ايضا في رسالته المشحونة بالفوائد التي فيها في سكك  
الحديد ما يفيد أن طول كل قضيب من قضبان سكك الحديد المجوفة ٨٩  
متترا وعرضه ٣٣ ملترا وأن تلك القضبان تمر بعوارض من الخشب  
او حديد الزهر بآلة او عجلة على بسطات من البناء وأن طول كل قضيب من  
قضبان السكك المسطحة ٢ ر<sup>١</sup> وعرضه ٨ ر<sup>٢</sup> في الجزء الذي يجري  
عليه العجلة وسلك هذا الجزء يساوى ١٥ ر<sup>١</sup> وارتفاع الاتقاء ٥٤ ر<sup>٢</sup>  
وسمكة المتوسط ٠١ ر<sup>٢</sup>)

ثم إن احكام وضع هذه الاخاديد ومناطاتها عما لا بد منه في السكك ذات الاخاديد  
ان يدون احكام وضعها ووراء محالها ينشأ عن الجهد الواقع عليها من محلات  
العربات الموسومة أن بعض المساندين من فيها بمقدار ٢ ستتر فقط فيكون  
المقدار احد قضبان الاخذود في هذه الحالة بمقدار واحد من ستين فيلزم حينئذ  
لاجل جر العربات حيز تكون السكة اقلية تضعيف القوة المستعملة

وقد كانت سكك الحديد ذات الاخاديد سابقا خالية عن الثمرة الحقيقية مع أنها  
كانت قابلة لأن يحصل عنها كثير من الفوائد وذلك لان هذا النوع من السكك

كان متجاوزا الحد في الصعوبة (فان طبيعة الارض ورخاوتها ماله تأثير عظيم في صلابه هذه السكك) فقد صرفت مبالغ جسيمة في عمل مساند من الحجارة اللينة مع انها اذا وضعت على سطح الارض تكون عرضة لتنفوع الحرارة والرطوبة

فلاجل جبر هذا الخلل اقتضى الحال أن تسند الاخاديد بالواح غليظة من الحديد الصبأي الزهر وتسمى اطراف اجزاء هذه الاخاديد على اطراف تلك الالواح والظاهر أن منافع استعمال الحديد الزهر دون منافع استعمال الحديد المطرق فان الاخاديد المتخذة من الحديد المطرق ليست كالاخاديد المتخذة من الحديد الزهر في كونها عرضة للتكسر عند ثوب العربيه وسلاقاتها لحصاة او حجر صغير يكون على الاخدود وقد شوهد منذ أكثر من ثمان سنوات سكة من الحديد المطرق معدة لاشغال تد القيل بإقليم كمبرلند وشوهد بها ايضا سكان من الحديد الزهر فكانت الاولى حسنة الاستعمال من جميع الوجوه وكانت في المصاريف دون السكتين الاخرين وقد جربوا مثل ذلك في ايقوسيا غير مرة فكانت النتيجة واحدة وهاتين نين عرض السكة المزودة ذات الاخاديد على مقتضى ما حسبه المهندس استوائسون في بعض مؤلفاته فتقول

الفرجة التي بين الاخدودين من ١ ٣ الى ٠ ٠ ٠ ٠ ٠ ٠ ٢

المسافة التي بين السكتين ٠ ٠ ٠ ٠ ٠ ٠ ٢

جوانب المسالك الضيقة والمجاري والدرجات وغير ذلك من ١ ٥ الى ٢ ٣

فيكون مجموع ذلك ٠ ٠ ٠ ٠ ٠ ٠ ١ ٧

ويمكن بواسطة وضع الاساس من الحجارة الصغيرة وسترها بالحصى على فرجة بين كل اخدودين واما السكة الضيقة المعدة للعربة فيمكن تثبيتها بالحصى او رصوة المعادن او بالهعم المعدني او نحو ذلك على حسب طبيعة الاماكن

وهنا النوع ثالث من سكن الحديد وهو ما تكون فيه الاخاديد مسطحة بدون  
اتثناء ولا بروز في بعض اجزائها وملسوقة بمنتصف السكة الاعتيادية  
او المباعدة فوق سطح تلك السكة ومثل هذا النوع لا يلائم الاحمال المستديرة  
من الحارات والازقة وغيرها من طرق المدينة السلطانية التي تتلاقى فيها  
العربات على اختلاف انواعها وعظمها في اتجاهات مختلفة زفد استعملت  
هذه السكك ذات الاخاديد بمدينة غلامخوف في المستوى الاعظم ميلا  
الذي يوصل الى حوض خليج فورت اكليد على ميناء دوداس  
وهذا المستوى يمكن ان تصعد عليه القرس الجيدة بخرولثة براميل وان تجتز  
عليه في مدة التهار نحو برميل ونصف

وتد اشهر استعمال ما ذكرناه من الاخاديد المسطحة في السكك الكبيرة لاسيا  
في المستويات العظيمة الميل ولا بد في استعمالها من تغيير الخيل عند الوصول  
الى تلك المستويات او تغيير شيء من العربات لاجل عبور الجسور حتى  
يسهل الثقل عليها كالسكة الاعتيادية

دري في شكل ٢٠ الرموز اليه بهذه الاحرف وهي (ا) (ب) (ث)  
حاجرا وضو عاجها ما نأت اخذود الحديد وتجد في شكل ٢١ سكة  
من دوجة ذات اخاديد مع عجلات العربات ومحاورها وفي شكل ٢٢ سكة  
من دوجة ذات اخاديد تقطعها سكة اخرى

### \*(الدرس الثاني عشر)\*

في بيان البريمة والالتواء والحبال والخابور وساير الآلات  
التي من هذا القبيل

ينبغي لمن اراد ان يعرف هذا الدرس حق المعرفة ان يراجع الدرس الثاني عشر  
من الهندسة في الجزء الاول من هذا الكتاب لتعلمه بالخطوط والسطوح  
الحلزونية

ولابأس أن نورد هنا على وجه الاجمال ما بالخطوط والسطوح من الخواص  
الهندسية تذكرها المسبق فنقول ان الخط البريمي او الحلزون الاسطوانى

هو كتابة عن خط مفعن مرسوم على محيط اسطوانة بحيث يحدث عنه في جميع امتداده مع اضلاع الاسطوانة زاوية واحدة فاذا كانت الاسطوانة موضوعة على وجه بحيث تكون اضلاعها رأسية حدث عن الخط البرمبي في جميع امتداده مع احد اضلاع الاسطوانة الرأسية زاوية واحدة ثابتة الميل

فاذا فرضنا أن هنالك خطا مستقيما له ميل ثابت ويتحرك على طول الخط البرمبي ويحدث عنه مع هذا الخط المنحني زاوية واحدة دائما فانه يحدث عنه سطح حلزوني ويكون المستوى المماس لهذا السطح الحلزوني ماثلا بالنسبة للرأسي في سائر نقط الخط البرمبي

واذا اريد هبوط جسم او صعوده على طول الخط البرمبي فانه يارتكاز هذا الجسم على السطح الحلزوني يتحرك كتحركه في طول المستوى المائل على خط مستقيم ميله كميل الخط البرمبي وهذا المستوى في الميل كغيره من المستويات المماس للسطح الحلزوني

وليكن  $\overline{AM}$  (شكل ١) كتابة عن افراد الاسطوانة التي تصنع عليها بريمة مثلثية (شكل ٢) او مربعة (شكل ٣) فينفرد كل دور من التليوط (شكل ١) على خط مستقيم طوله وهو  $\overline{AB} = \overline{CD}$

فاذا كان جسم من الاجسام الثقيلة عرضة للصعود او الهبوط على احد هذه الخطوط كخط  $\overline{MM}$  مثلا وكان ذلك الجسم متوازنا بواسطة قوة اقية كهوة  $\overline{CH}$  حدث هذا التناسب وهو نسبة قوة  $\overline{CH}$  الى ثقل الجسم كنسبة  $\overline{MO}$  الذي هو ارتفاع خطوة البريمة الى قسبة  $\overline{OM}$  الذي يساوي محيط الاسطوانة المرسوم عليها خيط البريمة

وحيث تقرر هذه المبادئ وجب أن نشرع في الكلام على كيفية استعمال البريمة فنقول ان البريمة توضع في بيتها البرمبي الذي يوجد في داخله ما يوجد فيمن الاسطوانة والتليوط فتارة يثبت في البيت المذكور طارة ذات مماسك

لتدويره كما تدور طارة المحنوت وتارة ثبت فيه رافعة او اكثر يكون لها شسب  
بضبان المنحوت والمعطاف  
وكانوا سابقا يكتفون بجعل رأس بيت البريمة مربعاً ويحسونه ببعضه بواسطة  
مفتاح تجويفه مربع كيجوزف البيت لاجل ادايته الى احدى الجهتين  
(اي جهتي اليمين والشمال)

وهناك بريعات ويوت بريعات تدور الى جهة اليمين (شكل ٢ و ٣)  
(كاسبق في الدرس الثاني عشر من الهندسة) وهي اكثر استعمالاً من غيرها  
ويوجد ايضا بريعات ويوت بريعات تدور الى جهة الشمال فلا يمكن تعيين  
بريمة دائرة الى جهة بيت بريمة دائرية اخرى تقابلها  
وتم نوعان من البريمات ويوتها احدهما بيت البريمة الثابت الوضع وهو  
ما تقدم فيه البريمة تارة وتارة اخرى بدوراتها في ذلك البيت الذي لا يتقدم  
ولا يتأخر ثباته وتكون القوة حيث تدور في احد طرفي البريمة وهذا الطرف  
الذي جرت العادة يجعله مربعاً يسمى رأس البريمة

وبانيهما البريمة الثابتة الوضع وهو ما يكون فيه البريمة مجبورة على الدورار  
بدون تقدم ولا تأخر وانما بيتها هو الذي يهزل بطولها  
وفي هذين النوعين تكون القوة والمقاومة الموازنة لها على نسبة منعكسة من  
المسافتين اللتين تقطعهما هاتان القوتان في زمن واحد كافي توازن المستوى  
المائل الذي ينسب اليه توازن البريمة

ولكن اذا دارت القوة دوراً كاملاً حول المحور فانها تقطع محيطاً نصف قطره هو  
بعد المحور عن هذه القوة وحيث ان المقاومة مؤثرة بالتوازي للمحور فانها  
تقطع في زمن واحد خطوة بريمة فاذن تكون القوة مضروبة في المحيط الذي  
تقطعه حول محور البريمة مساوية للمقاومة مضروبة في خطوة البريمة  
وعلى ذلك كلما كانت خطوة البريمة صغيرة وكان ذراع الرافعة الذي تؤثر القوة  
في نهايته طويلاً يمكن حصول التوازن بين قوة مفروضة وقاومة كبيرة  
فان لم تكن البريمات ويوتها محكمة الصناعة لم أن يكون في بعض احوالها

فراغ بين البريمة وبينها وأن تطوى أو تقرب الخيوط المجنوعة في البعض الآخر لاجل حصول التحرك فيلزم أن تكون الآلات المستعملة لصناعة البريمات من حيث صورها وتحت كها على غاية من الضبط والاحكام  
وإذا وقع على البريمة جهد قوة لاجل ابطال مقاومة حدث من هذا التأثير عليها وعلى بينها نوعان

فالنوع الاول منهما يتلف خيوط البريمة بواسطة قوة الضغط الحاصل بالتوازي للصور وهي قوة مساوية للمقاومة الحادثة من البريمة سواء كان ذلك في حالة الدفع او في حالة الجذب وهذه القوة تمثل الى مدة اجزاء يمكن اعبارها كنقط تماس بين البريمة وبينها وجزء المقاومة المتقول الى كل من هذه النقط يكون على نسبة منعكسة من سطح الخيوط المعلوم مقدار في صورة ما إذا كان عموديا على المحور وهذا السطح مناسب لبروز الخيوط في سائر طولها إلا أن هذا البروز لا يمكن زيادته بدون أن تكون الخيوط عرضة للكسر يادى اصطدام فان كان جانب هذه الخيوط مثلثا فاللائق عادة أن يكون من المثلثات المتساوية الاضلاع وان كان مستطيلا لزم أن يكون عرض كل خيط بقدر سمكه بمعنى أنه يكون مر بعام ان نوعي البريمات السابقين يتمازان عن بعضهما بكون خيوط البريمة في النوع الأول مثلثة (شكل ٢) وفي الثاني مربعة (شكل ٣)

ونصنع البريمات من الخشب اذا كان كل من الجهود والرافعة عليها والمقاومات التي تطفر بها تلك الجهود متوسطا بين الشدة والضعف غير أنه ينبغي لذلك انتخاب نوع من الخشب كالقش والارن وخشب الكمثرى مما تكون اجزائه متحدة اتحادا كافيا في سائر طولها ومثل هذه البريمات يسهل ائلام اطرافها وذلك ضرر عظيم لا يقع في البريمات المصنوعة من المعادن والبريمات المعدنية منفعلة عظيمة وهي قابليتها لأن تعمل اى مقاومة كانت مع صغر حجمها

هذا ويشق علينا أن نورد في استعمال الآلات جميع عمليات البريمة على وجه التفصيل وانما نقول ان الغرض الاصل منها احداث الضغط الشديد

كأى البرجة التي يستعملها مجلد الكتب لضغط أوراقها  
وكذلك البريمات الواقعة فإن الغرض الاصلى منها ايضا هو احداث الضغط  
المذكور ويوت هذه البريمات باية ومتمدة على شكل الهرم الناقص المربع  
الذى تكون قاعدته على الارض واما البريمات فهي متحركة بذراع او ذراعين  
من الراجعة (راجع شكل ٤)

واذا كان المطلوب ضم جسمين صليين الى بعضهما والاصاقهما الصافاتا مازم  
بهما بمسار او نحوه (شكل ٥) مما يكون له رأس بارز لاجل الامساك  
وبعض ادوار من خيوط البريمة وهو المسار المعروف بالقنور  
فاذا ادخلنا المسار فى الثقب تقدم الجسمين المطلوب ضمهما وصار بمنزلة البريمة  
التي فى داخل بيتها ثم يخلق هذا البيت بفتح مربع شبيه بالفتح الذى تقدم  
ذكره فى هذا الدرس ويمكن بهذه الكيفية ضم عدة عظيمة من قطع الاخشاب  
المهمة سواء كانت من اخشاب الاشغال البرية او البحرية

وتم بريمات خيوطها امره منفصلة عن بعضها كبعض بايات العرب باب المعروفة  
بايات القبض (انظر الدرس الرابع والخامس عشر)

ولا مانع من أن تعتبر البريمة كسطوانة مضرمة معدة لايصال الحركة الى  
الطارات المضرسية وهو ما يعرف بالبريمة غير المتناهية

وتستعمل هذه البريمة فى كثير من الآلات كالالة للمعدة لتحريك السفود  
وربما التثبيت بالنجنون والمعطاف وما شاكلهما

ويمكن ضم البريمة الى الطارة المضرسية ولصقها بها بواسطة التعشيق كأى شكل  
وبهذه الواسطة تنقل الحركة من محور س الموازى لمستوى المسقط الى  
محور آ عمودى على هذا المستوى تدل عليه نقطة و

ولكن ف هي القوة الواقعة على ماويلة ش ع فى طرف ذراع  
رافعة ش ع و ف هي القوة المنقولة بالبريمة غير المتناهية من م الى  
الطارة المضرسية التى نصف قطرها يساوى م و و ر هي المقاومة المؤثرة  
فى طرف ذراع رافعة و د يحدث

اولا ف  $\frac{\text{محيطا مقطوعا بالمناوية}}{\text{خطوة البريمة}} \times \text{ف وثانيا ر} = \frac{\text{ر}}{\text{و}}$

فاذن يكون  $\text{ر} = \frac{\text{ر}}{\text{و}} \times \frac{\text{محيطا مقطوعا بالمناوية}}{\text{خطوة البريمة}} \times \text{ف}$

ومن هذا التساوي تؤخذ النسبة بين القوة والمقاومة

والنوع الثاني من نوعي التأثير الواقع على البريمة وبينها من القوة والمقاومة هو ما يحدث عنه التواء البريمة وبينها ولاجل الوقوف على حقيقته نعرض عدة منشورات متساوية كالالياف النباتية التي يتركب من مجموعها شجرة اسطوانية ونعرض أن المطلوب التواء هذه الاسطوانة فتوقع على نهايتها قوتى  $\overline{\text{ف}}$  و  $\overline{\text{ف}}$  (شكل ٧) العموديتين على اتجاه الالياف والدائرتين في جهتين متقابلتين فاذا لم تكن الاسطوانة صلبة جدا وكان لا يوجد في الالياف صلابة تامة فانه يقع عليها تأثيرا بين القوتين فتدور احدى قاعدتيها من اليمين الى الشمال والاخرى بالعكس ونعرض ايضا أن مقاومة الاسطوانة المذكورة واحدة في جميع طولها وزيادته على ذلك نعرض عدة قطاعات متنوعة حاصلة من مستويات موازية للقاعدتين وأنها على بعد واحد من بعضها فيكون دوران القطاع الاول بالنسبة للثاني في زاوية يكون فيها دوران الثاني بالنسبة للثالث والثالث بالنسبة للرابع وهكذا وعلى ذلك فالقط التي يتكون منها في مبدأ الامر ليف قائم على كل قاعدة يتكون منها ايضا خط حلزوني بواسطة ما يكون للقوتين المؤثرتين في جهتين متقابلتين من التأثير الواقع على قط مختلفة من طول الشجرة الاسطوانية ويعرف هذا التعاكس بالتواء

فاذا لم تكن الالياف متلاصقة بل ترحتفت عن بعضها او كان لا يمكنها الا الاحتكاك كان التواء الاسطوانة المتكونة من مجموع الالياف كالتواء الذي يحدث في صناعة الحبال

فان قيل ما مقدار المقاومة التي تعرض للتواء من الاسطوانات المختلفة القطر المتجانسة المأداة فالجواب اننا نعرض لحل هذه المسئلة اسطوانتين



رفيعتين جدا متساويتين في الرفع والاولى أن يقال متحدتين في السمك الصغير  
جدا ومختلفتين في القطر مع اتحادهما في الطول وتوقع عليهما في مستوى  
قواعدهما قوى محاسة لهما تدبرهما الى جهات متضادة فيحصل بذلك  
التواءهما ويلزم اتحاد القوة في راوية واحدة من الروايا الحادثة من التواء  
الالياف المتجهة على اضلاع الاسطوانتين ليحصل الالتواء في الالياف التي  
حجمها واحد ويكون عدد تلك الالياف مناسبا لمحيط القواعد فيلزم اذن  
استعمال القوى المناسبة لمحيط القواعد وانصاف اقطار الاسطوانتين  
ليحصل التواء هاتين الاسطوانتين المحوكتين الرفيعتين جدا بحيث لا يحدث عن  
اليافهما واتجاهاتهما الاصلية الزاوية واحدة

فان افرضنا عمودا اسطوانيا غير محووف ونوهنا أنه مقسوم الى اسطوانات  
محوقة متحدة السمك والمركز ففرضنا أن التواءها واحد بحيث تكون كل نقطة من  
نقطها الموجودة في القطاع العمودي على المحور باقية على وضعها الاصلى  
سهل عليك بعد حصول الالتواء أن تعرف أن الزاوية الحادثة من الالياف  
مع اتجاهاتها الاصلية مناسبة لبعدها هذه الالياف عن المحور وبهذا الالتواء  
يحدث عن كل ليف لاجل حل التواءه جهه مناسب لنصف قطر الاسطوانه  
المحتوية على هذا الليف وهذا الجهد ناشئ عنه بالنسبة للمحور بواسطة ذراع  
رافعة مساو لنصف القطر المذكور فبناء على ذلك تكون القوة التي يلزم  
استعمالها في التواء كل ليف مناسبة لمربع بعدها عن المحور وينتج من  
ذلك أن القوة الكلية التي يلزم أن يكون للأسطوانات بهادرجة من الالتواء  
مأخوذة وحدة تكون مناسبة لمجموع مقادير اينري قواعدها بالنسبة  
للمحور بمعنى انها تكون مناسبة لمسطح قاعدة الاسطوانه مضروبا في مربع  
نصف القطر فاذنا كانت انصاف الاقطار هي

١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ٧ ٨ ٩ ١٠ الخ  
كانت اعداد

١ ١٦ ٨١ ٢٥٦ ٦٢٥ ١٢٩٦ ٢٤٠١ ٤٠٩٦ ٦٥٦٣ ١٠٠٠٠ الخ

دالة على نسبة القوى التي بها يمكن محصيل درجة واحدة من الالتواء

لأسطوانات

لاسطوانات متنوعة لها طول معلوم بين القوى التي تؤثر فيها لاجل التوائها  
واذا فرضنا اسطوانتين مختلفتين في نصفي قطريهما الرموز الهمما يرمزى  
ر و ر (شكل ٨ و ٩) وواقع على احدهما قوتا ف و ر  
المساويتان وعلى الاخرى قوتا ف و ف المتساويتان ايضا لاجل  
حصول الالتواء فيهما بحيث ان بعدى هاتين القوتين وهما م م و م م  
متساويان حين يكون

ف : ف :: مسطح م م منه ر : مسطح م م من ض ر  
تكون زاويتا الالتواء وهما م م و م م متساويتين لان و و  
هما مركزا القاعدتين فاذن يحدث هذا التناسب وهو  
م م : م م :: ر : ر

فاذا جعلنا م م = م م ولوينا الاسطوانة الفليضة حتى نوصل ليف  
م الى م حدث من هذا الليف مع اتجاهه الاصلى وهو م م  
الزاوية التي تحدث من ليف م م مع اتجاهه الاصلى وهو م م ولتكن  
ف هي القوة التي لا بد منها في التواء الاسطوانة الكبيرة على اتجاه م م  
فيتحصل هذا التناسب وهو

ف : ف :: م م : م م :: ر : ر ويؤخذ من ذلك أن  
ف = ف × ر

ولكن ف = ف × مسطح م م منه ر : مسطح م م من ض ر  
فاذن يكون ف = ف × مسطح م م منه ر : مسطح م م من ض ر

فاذا كان ميل م م يكتفى في التحلل او اتصال الياف الاسطوانة  
الصغيرة من بعضها فتصل على الاسطوانة تأثير واحد من ميل م م الحادث



المساوي لارتفاع الخطوط المشتركة بين الخيوط الحلزونية كناية عن طول محيطات  
الطبقات المختلفة من الخيوط التي هي اجزاء الحبل فاذا مددنا من نقطة ب  
خطوط ب د و ب د و ب د الخ المائلة كانت هذه الخطوط  
كناية عن طول اجزاء الخيط الحادث منه دور كامل حلزوني على المحيطات  
الموجودة في الالتصاقات وهي د و د و د الخ وهذه الخطوط  
المائلة كلها غير متساوية وتزداد في الطول عن بعضها بازدياد بعدها عن خط  
ا ب العمودي على ا د واذا اخذت من مبدأ الامر عدة خيوط متوازية  
ولويتها كلها دفعة واحدة جاريا في ذلك على الطريقة القديمة مع منعها عن  
التحلق على بعضها لزم انطواء الخيط المركزي وهو ا ب وامتداد خيط  
الخيط الخارج وهو ب د بحيث يصير جزا الخيط المتندان في الطول بين  
قطاي ا د و ب د كناية عن ا ب و ب د ولاجل حصول  
التوازن بين الخيوط التي يتركب منها الحبل المصنوع بموجب الطريقة القديمة  
وابتداء ذلك الحبل على صورته يلزم اولاً انطواء بعض اجزاء الخيوط الداخلة  
وثانياً امتداد جميع الخيوط الخارجة وماجاورها وثالثاً موازنة مقاومة المذ  
لمقاومة الانطواء

ولنفرض جبلاً مصنوعاً بهذه المنابة يكون مشدوداً بقوتين واقعتين على طرفيه  
فيكون تأثيرهما فيه كناية عن مده وحيث ان الالياف المركزية منطوية  
خاصة عملهم من القوى حيث تدعو به تلك الالياف الى حالتها الاصلية وهذه  
القوى لا تعرض لها مقاومة من الخيوط فلذا كانت تتقوى بالانطواء فلا يبقى  
حيثما يقاوم مده الحبل الا الالياف الخارجة وماجاورها

فعلى ذلك ليس في صناعة الحبال بموجب الطريقة القديمة ما يقاوم المذ  
والانقطاع الاجزاء واحداً من خيوط كل حبل وذلك لعدم استواء هذه الخيوط  
في المقاومة فانها اذا لم تقبل من المذ الادجة معينة فان الخيوط الموجودة  
خارج الحبل تصل الى تلك الدرجة بواسطة تأثير قوى جديدة وتقطع قبل أن  
تبلغ الخيوط الداخلة النهاية في المقاومة واذا انقطعت الخيوط الاولى الخارجة

انقطعت حينئذ الطبقة البعيدة عن المركز وسرى ذلك الى ما بعدها حتى يصل الى مركز الحبل

وبعرقه المقامات المتوالية تعرف القاعدة المترتبة على جعل الخيوط التي يتركب منها الحبل ممتدة بالسوية عند صناعة هذا الحبل وبهذه الطريقة تكون سائر الخيوط مقاومة للمددقة واحدة ويؤخذ من ذلك أن هذا التأثير يشتد بقدر غلظ الحبل حيث أن هناك فرقا كبيرا بين مذي الخيوط الخارجة والخيوط الداخلة

وهذه القاعدة هي التي جرى عليها الانكليزي في عمل الآلات الجديدة المعدة لصناعة الحبال ونحن أقول من أشهر هذه الآلات بمملكة فرنسا ثم سلك مهرة المهندسين الفرنسيين في صناعتها طرقا متنوعة اخترعوها فترتب على ذلك نتائج عظيمة لها أهمية في فن البحارة الفرنسيين

فمن ذلك ما صنعه كل من المهندس البارون لير و هوبيرت فيميني بريست ورشوفورت من الآلات التي بواسطتها كانت الحبال المصنوعة أقوى وامتن من الحبال القديمة فبذلك صارت ادوات السفن خفيفة ويجعل القوة في تلك الحبال واحدة يمكن تقصير أقطارها فتقص أبعاد البكرات المعدة لتحريكها واستعمالها وبذلك تصير صواري السفن خفيفة جدا هذا وما نؤمله أن مميزات البحارة الفرنسيين تؤثر في صناعة الحبال الطرق الجديدة المذكورة وترجعها لانها جامعة بين فائدتى الوفرة والمثانة

### \* (بيان الخابور) \*

الخابور منشور مثلثي يؤثر بصلعه القاطع وهو هـ ف (شكل ١١) ليفصل بين جسمين او جزئين من جسم واحد ويعرف هذا الصلح بهذا الخابور القاطع واما واجهة ابثد المتابلة للعد المذكور فتعرف برأس الخابور ويطلق اسم الجبهتين على واجهتي ادهف و بث هـ التين على عین الحد القاطع وشماله

ويستعمل الخابور في كثير من الفنون لقطع الاجسام او شقها فان السكاكين  
الفرنجية والمقاريض والسيوف والبلطخوابير مستعملة دائما في زمن  
السلام والحرب وكذلك الفارات والشفرات والكوازم والمعازق والبحاريف  
والقاسات ونحوها وبالجملة فان الخابور من اهم الآلات المعدة للشغل

وليكن خابور ا ب ث (شكل ١٢) هو الذي يدفع بواسطة قوة ح  
نقطة ه المسكة بقوة واحدة كقوة غ ونقطة ف المسكة بقوة

واحدة كقوة ك والمطلوب الان معرفة شروط التوازن في ذلك فيقال

على اي وجه كانت قوة ح متى لم تكن قوتا غ و ك عموديتين

بالتناظر على ضلعي الخابور وهما ا ث و ب ث فان قطعتي ه و ف

يتزحلقان على طول هذين الضلعين وبذلك يحتل التوازن فاذا تكون ا و ا

قوة غ عمودية على ا ث وقوة ك عمودية على ب ث وثانيا

يلزم لاجل حصول التوازن بين قوتي ح و غ و ك الثلاثة

المؤثرة في خابور ا ب ث أن تكون مجتمعة في نقطة واحدة كنقطة و

وأن تعتبر احداها محصلة للآخرين فاذا رسمنا على و غ و و ك

و و ح الممتدة شكل و د ح غ المتوازي الاضلاع تحصل معنا

هذا التناسب وهو

قوة ح : قوة غ : قوة ك :: و د : و ح : و غ = و د

وهنا هو شرط توازن الخابور

وحيث ان اضلاع مثلث و د ح الثلاثة عمودية بالتناظر على اضلاع مثلث

ا ب ث الثلاثة يحدث ان هذا التناسب وهو

قوة ح : قوة غ : قوة ك :: ا ب : ا ث : ب ث

فاذا كان ضلعا الخابور وهما ا ث و ب ث متساويين (شكل ١٢)

لزم أن تكون مقاومة  $\text{غ}$  و  $\text{ك}$  المتماثلتين لهذين الضلعين متساويتين  
 أيضا كما هو الواقع في أغلب العمليات وعليه فاضلاع السكاكين والبلط  
 والسيوف من حيث هي متماثلة وحيث تكون نسبة القوة للمقاومة الحاصلة  
 لاجل دفع كل ضلع كنسبة عرض رأس الخابور الى طول الضلع  
 وكلما كانت الخواير حادة كانت اضلاعها طويلة بشرط بقاء رأس الخابور  
 على حالة واحدة وكان أيضا الرأس ضيقا بشرط بقاء الاضلاع على حالة واحدة  
 فلذا كان يمكن حصول التوازن بين قوة مفروضة ومقاومة كبيرة بقدر ما يكون  
 الخابور حادا وكان ايضا يمكن في ابطال مقاومة مفروضة قوة صغيرة  
 بقدر ما يكون الخابور حادا

واذا وقع على نقطة  $\text{هـ}$  او  $\text{ف}$  قوتان بدلا عن قوة  $\text{هـ غ}$  او  $\text{ف ك}$   
 لزم أن تكون محصلة هاتين القوتين عمودية على احدى واجهتي  $\text{ا ث}$   
 و  $\text{ب ث}$  المتقابلتين وحل هذه المسئلة الجسيمة على غاية من السهولة  
 وذلك بأن نصل بين  $\text{هـ}$  و  $\text{ف}$  (شكل ١٣) اللتين هما تقطعا وقوع  
 مقاومتى  $\text{هـ غ}$  و  $\text{ف ك}$  بمستقيم  $\text{هـ ف ك}$  ثم نسط  $\text{هـ غ}$   
 و  $\text{ف ك}$  على هذا المستقيم بعمودى  $\text{هـ غ}$  و  $\text{ك ك}$  فيكون  
 $\text{هـ غ}$  و  $\text{ف ك}$  هما القوتان البعدتان لنقطتي  $\text{هـ}$  و  $\text{ف}$  عن  
 بعضهما

ومنى كان خلعا  $\text{ا ث}$  و  $\text{ب ث}$  متساويتين (شكل ١٣) كانت مقاومة  $\text{هـ غ}$   
 و  $\text{ف ك}$  متساويتين ايضا ويحدث من خط  $\text{هـ ف}$  واتجاهى  $\text{هـ غ}$   
 و  $\text{ف ك}$  زاوية واحدة فاذن تكون مقاومة  $\text{هـ غ}$  و  $\text{ف ك}$   
 المتماثلتين متساويتين

واذا فرضنا زيادة على كون قوة  $\text{ح}$  (شكل ١١) عمودية على الحد  
 القاطع وهو  $\text{هـ ف}$  أن الخابور تدفعه قوة  $\text{خ}$  الموازية لهذا الحد

فان ذلك الخابور من حيث وقوع تأثير قوة  $\overline{ح}$  عليه يغوص ومن حيث

وقوع تأثير قوة  $\overline{خ}$  عليه يتحرك في جهة الحد القاطع

وبهذا تعرف القضية النظرية المتعلقة بالاجسام المتواصلة الاجزاء المتنوعة  
تواصلا تاما وان لم تثبت لها هذه الخاصية بالنظر لنفسها وطبيعتها فيلزم أن تعتبر  
تضاريسها الصغيرة جدا التي لا تدرك غالبا بمجرد النظر كالخوابير الصغيرة البارزة  
الفائضة في سطح تلك الاجسام

فاذا ضغطت الخابور على جسم يقبل الضغط كثيرا او قليلا فان هذا الجسم  
يقع عليه تأثير الضغط وترد اذا المقاومة كثيرا حيث بها تكثر نقط تماس الخابور  
بالجسم المذكور

واذا زلحق الخابور الغير المصقول على الجسم صار كما ذكرنا كل تضريس من  
تضاريس سطحه بمنزلة خابور مستقل يغوص في ذلك الجسم مع حصول  
الفائدة التي تحصل من القوة للمقاومة سواء كانت صورة هذه التضاريس  
حادة كثيرا او قليلا فاذا تكون القوة المستعملة في ذلك مع الفائدة كفاية عن  
قوة عمودية على اتجاه الحد القاطع تدفع الخابور وقد دلت التجربة على اهمية  
هذه الفائدة العظيمة في كثير من اشغال القنون

ويتضح ما ذكرناه بالا لآلة المنتظمة التضاريس انتظاما تاما بواسطة الصناعة

وهي المشار بان فرض لوحا معدنيا كالوح  $\overline{أ ب ش د}$  (شكل ١٦)

يكون ضلعه وهو  $\overline{ش د}$  مصنوعا على وجه بحيث تكون زواياه

وهي  $\overline{أ و أ}$  و  $\overline{أ و أ}$  الخ متساوية ونستعمل بالتعاقب قوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{ز}$

المتساويتين لاجل شد المشار ودفعه على جسم  $\overline{م ن}$  واما القوة الثالثة

وهي قوة  $\overline{ح}$  التي هي في الغالب كفاية عن ثقل المشار فان تأثيرها يكون

على اتجاه عمودي وهذا المشار كفاية عن الخابور المركب الذي يستعمل في نشر

الاخشاب والمعادن وكثير من الاجسام الاخرى

وانا اريد قطع هذه الاخشاب او المعادن بنشار ثابت واقع عليه تأثير ثقل



عظيم جدا كشار أبشدا (شكل ١٦) استعمال تسميها وتعذر  
ما لم يتوصل الى ذلك يذل مجهودات خفيفة بأن يحرك الجسم تحركا مترددا  
يضاهي تحرك المنشار

وليست صورة الزوايا البارزة المسماة بأسنان المنشار المرموز اليها بحروف  
آ و آ و آ متحدة بل تتنوع في كل منشار بحسب طبيعة الاجسام  
وصلاتها

فاذا كان المراد نشر اجسام صلبة جدا وجب الاهتمام بجعل الاسنان صغيرة  
ومقاربة من بعضها وجعل كل واحدة منها معدة لأن ترفع في كل حركة من  
حركات المنشار جراً صغيراً من الجسم الصلب واما اذا كان المطاوب نشر اجسام  
دون ذلك في الصلابة فانه يلزم جعل ابعاد الاسنان كبيرة وجعل صورتها على  
شكل مخن كما في شكل ١٧ عوضاً عما هو الغالب من جعلها على شكل مثلث  
مستو وليس للمنشار المعدة لنشر الحجر والرخام (شكل ١٥) اسنان  
اصطناعية بل هو كناية عن صفيحة من فولاذ تشد وتدفع على الكتلة التي يلزم  
نشرها ويقوم مقام الاسنان الرمل معد في احرفه الحادة تعمل على الحواوير\*  
ويستعمل في نشر حجر الصوان السنفرة بدلا عن الرمل ولا يشترط أن تكون  
صفيحة المنشار شديدة الصلابة وربما كانت من الحديد الخام وعلى ذلك يمكن  
ادخال الرمل او السنفرة الى حدة المنشار القاطع بوجه مستحسن  
ولا يقتصر في الحواوير للضرس على جعل حدها القاطع مستقيماً بل يمكن  
مستديراً وقد يكون على شكل مخفيات متنوعة

ومحيط المناشير المستديرة (شكل ١٨) معلوم بالاسنان فهي بذلك شبيهة  
بالمناشير المعدة لنشر الاجسام الصلبة جدا (شكل ١٦) وبالمناشير المعدة  
لنشر الاجسام التي دونها في الصلابة (شكل ١٧) ولا بد في صناعتها من  
مزيد النشاط والمهارة في سقاية المعادن المتخذة هي منها وليس هذا محل وفي  
العادة تصنع المناشير الصغيرة المستديرة من صفيحة من الفولاذ مركبة على  
محور من الحديد

واما المناشير المستقيمة فينشأ عنها ضرر دون غيرها من الآلات التي تتحركها  
متعدد وذلك انها في حالة رجوعها يكون زمن تلك الحركة خاليا عن الفائدة  
بخلاف المناشير المستديرة المستمرة التأثير في جهة واحدة فان زمن الحركة فيها  
لا يخلو عن الفائدة

ويشترط في المناشير المستديرة أن تكون شديدة السرعة في الدفع حتى تعظم  
فائدة تأثيرها وليلاحظ حيث أنه يكنى ضغط الجسم المراد نشره قليلا على  
المنشار حتى يحصل النشر مع غاية السرعة والسهولة ثم ان محاور المناشير  
المستديرة تكون موضوعة بالتوازي للسطح الافقي من التازجة ومعشقة بها  
بحيث يكون مستوى المنشار عمودا على مستويا فإذا اريد عمل منشورات  
تكون جميع واجهاتها عمودية على بعضها فان قطع الخشب المطلوب نشرها  
توضع على وجه بحيث تكون احدي واجهتها وهي المجهزة للنشر تهتز  
على مستوى التازجة والاخرى تهتز مع حاسم الدليل ثابت مواز لمستوى  
الطارة على بعد لا تقرب بتقديم قطعة الخشب المراد عملها يظهر بالبساطة أن  
مستوى المنشار يرسم فيها قطاعا وازيا للواجهة المستوية المستندة على  
الدليل فإذا تم عمل هذه الواجهة طبقت على الدليل وصارت واسطة في عمل  
واجهة اخرى من القطع المراد نشرها وتتوصل بهذه الطريقة الى عمل  
منشورات مربعة او مستطيلة معلومة السمك ولا يخلو هذا العمل عن الفائدة  
الثامة اذا اقتضى الحال عمل عدة منشورات متحدة الجسم

ولامانع من استعمال المناشير المستديرة في الترسانات البحرية والطوبجية وسائر  
ورش الصناعات مع الفائدة وقد استعملت هذه المناشير في مملكة فرنسا  
وكنيت اول من قلمها اليها من مملكة الانكليز

ولابأس أن نذكر هنا على سبيل الاختصار المناشير الكبيرة المستديرة المعدة  
لنشر اخشاب الطبق كنشب الكابلي فنقول المنشار الكبير المستدير عبارة  
عن طارة قطر هاست امتار تقريبا متراكبة من نصايب رفيعة جدا في الجهة  
العمودية على مستوى المحور وعريضة جدا في جهة هذا المحور مبتدأ منه

واحدة في تناقص عرضها شيئا فشيئا كلما قربت من محيط الطائرة وهذا المحيط  
محاط بعدة قسي من منافع الفولاذ مخرسة يتكوّن من قواصلها المنشار  
المذكور ثم ان تلك الطائرة تتحرك بواسطة آلة بخارية وتكون كتلة خشب الكابلي  
مثلا المطلوب نشرها مثبتة على عربة تكون سرعتها المتزايدة مناسبة لسرعة  
الطائرة وكلما دارت هذه الطائرة غاصت في الكتلة وفصلت عنها جزءا من سمكها  
يبلغ ٢ مليمت تقريبا وينتهي هذا الجزء قليلا بمجرد انقضاء بحيث يكون  
على شكل محدب حادث من سطح دوران مركب من منافع معدنية والواح  
خفيفة مثبتة على نصائب الطائرة وبهذه الطريقة تنشر اجزاء الطبقة التي  
عرضها غلبا مترو نصف تقريبا واعظم مناسير هذا النوع هو منشار المهندس  
برونيل الذي صنعه في معاملته التي في باترسي قريسا من مدينة لشدة  
وكثير من الالات ما هو في الحقيقة مناسير وذلك كالتاجل والمقاصل والمبارد  
وكيفية عمل التاجل والمقاصل (شكل ١٩ و ٢٠) أن يصنع محيطها  
وهو **ابث** على وجه بحيث يكون له تضاريس واسنان هي كتابة عن  
خواير متقاربة من بعضها بالكلية ويحدث من حدها القاطع مع المحيط  
زاوية واحدة في سائر جهاتها فكل قبضة من الزرع المحصود او الخشيش  
اليابس قابلية الالة تقطع من سمكها بواسطة الاسنان المذكورة فاذا كان  
التحرك سر يعاجدا اخذت المقاومة في التناقص بحيث تقطع العيدان النباتية  
وهي **ب** بدون تكسر والاوجب أن يذل في قطعها قوة عظيمة بتمزيك  
الالة عموديا على محورها ولا ينجح ما في هذه الحالة من المشابهة بين تأثير  
المخيل والمصل والمنشار المستدير

وقد صنعوا من هذا القليل سيوفاً حدها القاطع ذو اسنان وتضاريس وهي  
اسلحة قذيفة عظيمة التأثير لا تلائم الا اهل التبربر والخشونة  
وما يسمى عند اهل المشرق بالسأكرية له تأثير كتنثير المنشار المستدير ترى  
الرجل من اهل آسيا بدلا عن كونه يطعن بها عموديا على حدها القاطع يقبض  
عليها ويجهلها على اتجاهاه حتى تصل الى الشيء المراد قطعه وتجرحه فعند ذلك

تقوم في الجرح اسنان الحد القاطع على التوالي فيكون تأثير تلك الاسنان  
الفائضة كتأثير اسنان المشار فلذا كانت جروح الشاكرات بهذه الطريقة  
أعمق وأعرض مما اذا كانت حاصلة من الطعن بالحد القاطع طعنا عموديا على  
السطح المراد قطعه

ولما المبادر والمحكات (شكل ٢١ و ٢٢) فهي كناية عن سطوح  
مضروسة لها اسنان كالخوابير الصغيرة المتساوية التي تكون عادة مستوية الوضع  
اي مصنوعة على ميل يحدث منه مع محور المبرد او المحك زاوية تبلغ ٤٥  
درجة فاذا تقدم المبرد او تأخر على سطح الجسم المراد صقله حدث على ذلك  
السطح من خوابير حوزة متساوية يعقبها ملوسة السطح وصقلته في رأى العين  
وذلك لشدة قواصلها واتلاصقها ثم ان الاولى في استعمال المبادر ما كان له اسنان  
كثيرة وصغيرة جدا اذ به ينقص بالتدريج عرض وعمق الحزور التي تحدث على  
سطح الجسم المطلوب صقله حتى تكثروا يقل عمقها بحيث لا يمكن ادراك التجويفه  
بحاسة البصر فعند ذلك يظهر للناظر ان السطح المبرد على غاية من الصقالة  
ومما ينبغي التنبيه عليه أن المبرد لا يحصل تأثيره في جهة واحدة بل ينتقل  
بالتدريج على سطح الجسم المراد صقله في اتجاهات مختلفة وبذلك تنقطع  
الحزور وتزول خشوتها

واما اذا كانت اسنان المبادر والمحكات ليست على بعد واحد من بعضها فلا  
يمكن أن تفصل سائر اجزاء سطح الجسم المقروض صقلا مستويا فلا بد  
في جودة الصقل من أن تكون المبادر والمحكات محكمة الصناعة ومنظمة  
انتظاما هندسيا

ومما ينتظم في سلك المبادر والمحكات الكردات وهي عبارة عن خوابير متفرقة  
من بعضها وطويلة جدا ومتوازية ولها شبهة باسنان المبادر التي على وضع  
مستوي ولكن ليس الغرض منها الصقل وازالة ما في سطح الجسم من الخشونة  
وانما تستعمل لتنظيم الخيوط في اتجاهات معينة وتدخل في النسيج غير المنتظم  
الحادث من هذه الخيوط فتقحمه الى خيوط رفيعة جدا ثم تنظم تلك الخيوط

بواسطة تأثير ضغط خفيف

والشئفة المعدة لتسريح الصوف المسماة عند العامة بالشئفة تأثير كتأثير الخواوير  
ومن هذا القبيل أيضا الخدائد التي نطمحها الخيل وهي مركبة من عدة صفائح  
مسننة منجهة بالتوازي لبعضها ومتمزكة بقوة مشتركة وكذلك المشط المعد  
لترجيل الشعور وتسريحها واما محركات السكر (شكل ٢٣) والفرش  
والمقاشات فتأثيرها كتأثير المنشار وذلك كالخروق المعدة لحل الامتعة وتكميل

مقل السطوح

وكذلك المسلفة والمخرقة فتأثيرها مشابه لما ذكر في تنظيم سطح الارض \* هذا  
ولم نستوف جميع آلات هذا النوع

ويستعمل في مقل محصولات الصناعة اجسام متركة بالطبع من اجزاء  
صغيرة هي في الحقيقة خواوير حادة وصلبة جدا فن ذلك حجر الخرفش وحجر  
السن فانهم ماعدنان لمقل السطوح ويريد الثاني اى حجر السن باختصاصه  
بسن الآلات الساطعة وما يوجد بسطحه المتبلور من الخواوير العديدة يستعمل  
في اصطناع السطوح الكبيرة المتواصلة من الآلات القاطعة وهناك ابحار  
سطحها الاصطناعي مستو واخرى سطحها الاصطناعي مسندير

واست ابحار الطواحين مقصورة على دق الحبوب وتفتيتها بل تطلقها وتطحنها  
بتأثيرها الشبيه بتأثير الخابور ويعين على ذلك الافاريز المصنوعة في السطح  
المستوى من هذه الاحجار

ولما انهمنا الكلام على الخواوير المنشورة اى التي على شكل المنشور فاسب  
أن نتكلم على الخواوير المحروطة او الهرمية كالمقاش والسامير وبعض  
الاسلحة والآلات المستعملة في القنن الحربية والملكية فنقول اذا اريد  
ادخال منقاش او سمير محروطى او هرمى (شكل ٢٤ و ٢٥)  
في جسم يقاوم ذلك فان كانت المقاومة مناسبة للاقراج الحاصل بين اجزاء هذا  
الجسم ولكمية النقط التي يلزم بعدها عن بعضها امكن أن نبرهن على أن الجهد  
اللازم لادخال السمير او المنقاش يكون مناسباً لهدار يتبرى الجزء المقرض

غرضه من ذلك المنقاش او المسمار لان هذا المقدار مأخوذ بالنسبة لمحور المسمار  
او المنقاش المعتبر كهرم او خابور

ومن الخواص الهرمية او المخروطية ايضا كثير من الآلات المستعملة  
في الصناعة كالسفود والخنصر والسحجة والابرة والدبوس وآلات الحفر والنقش  
وما اشبه ذلك و يشاهد في الحيوانات ما هو على صورة خواص متنوعة الشكل  
لاجل الاقتراس او الذنب بها وذلك كالاسنان والقرون والانفاخر والمخالب  
ومخوها ومثل ذلك كثير جدا لا يمكن حصره

وقد ابتدع ارباب الصنایع تركيبا يدعى لاتحاد انواع البريمة والخابور حيث  
ان كلا منهما على اقتراده يحصل به التوازن بين المقاومة الكبيرة والقوة  
الصغيرة وباجتماعهما يحصل التوازن بين قوة اصغر من المتقدمة بالنسبة  
للمقاومة

ومن هذه الآلات المركبة ما الغرض منه الدخول في الاجسام كاللقاب  
والمسمار ومنها ما هو معد لقطع الاجسام فاذا فرضت خابورا ومخروطيا ممتذا  
جدا وتيت هذا الخابور على صورة الخارزون حدث من ذلك الآلة المعروفة  
بالبرمة او كاشة المدفع التي الغرض الاصل منها الدخول في السدادة وفي عمصة  
الاسلحة النارية

ولاجل تحصيل النسبة بين القوة والمقاومة في مثل هذه الآلة يلزم أن نلاحظ  
انه اذا كانت هذه الآلة بريمة كانت النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة  
كنسبة المحيط المقطوع به من القوة الى خطوة البريمة ثم ان كان طرف البرمة  
او كاشة المدفع منقبا كانت النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة كنسبة طول  
هذا الخابور المقروض الى سطح قاعدته مضروبا في مربع نصف قطر هذه  
القاعدة فيكون حاصل هاتين النسبتين هو عين حاصل النسبة الواقعة بين القوة  
والمقاومة غير أنه يلزم التنبيه على أن الاحتكاك يعدم جزءا عظيما من القوة  
وهي مع ذلك اكبر من المقاومة

والنوع الثاني من اتحاد البريمة والخابور وهو اجتماعهما معا له اهمية عظيمة

وهو أكثر استعمالا من الأول ويدخل فيه المناقيب الكبيرة والمخاريز ونحوهما  
 (شكل ٢٦ و ٢٧) فإذا فرضنا خابورا مثبتا على طول ضلع الاسطوانة  
 وفرضنا أن هذه الاسطوانة تتحرك كاستديران في كل وقت يمكن أن نعتبر  
 أن هذا الخابور مدفوع بقوة واقعة على حده القاطع ويعظم تأثير هذه القوة  
 كلما كان الخابور في زاوية حادة جدا بالنسبة للجسم المطلوب حركته  
 رد فرضنا أن ضلعا من ثنائي الأضلاع حركته لا عن الضلع المستقيم فان الحد  
 القاطع من الخابور عوضا عن كونه يقطع الجسم قطعا عموديا على اتجاه التحرك  
 الحاصل له يقطع قطعا مائلا ويكون تأثيره كتأثير الخابور المستقيم الذي  
 يوجه اتجاهه مائلا كذلك وأكرو في هذه الصورة تعظم القوة بالنسبة للمقاومة  
 حتى يتأخر حركون الحد القاطع مع ضلع الاسطوانة المثنى عليها هذا الحركون  
 زاوية كبيرة فإذا اريد على مناقيب كبيرة تامة الصلابة لزم الاهتمام بجعل  
 حدها لقاطع حاد جدا واحدا عنده مع ضلع الاسطوانة المجمولة محورا لهذه  
 الآلة زاوية كبيرة

رتبة في المناقيب والمخاريز فرأينا عظيميا في خلال كل خطوة من خطوات  
 البرية الحادثة عن خيوطها الحادة ومثي تقبث تلك الآلة بالجسم المطلوب تحريكه  
 فندلت عنه اجراء تكون صورتها على شكل الحركون وتتصرف في الفراغ  
 نحو جود بين ادوار تلك الخيوط ومع ذلك فلا بد من التنبيه على أن تلك الاجراء  
 لا تغل الاجراء من الاسطوانة الكلية التي يتقها المنقب او المخراز وعلى انها  
 تكون ممتدة او منكسرة بمجرد اتصالها وهذا الانكسار يضر بتأثير الآلة  
 ولذا لاجل منع ازدياده من زمن الى آخر فيجذب المخراز والمنقب كي يخرج  
 الاجراء المنصلة ثم تأخذ في النقب ثانيا ويكون العمل بعد ذلك سهلا  
 رد عمل المهندس استعان بريس في الآلة المعروفة بالمقرض لكونها تزيد  
 ويربطها عمليتي بدعيمة تتعلق بالبريعة والخابور وأول من جلب هذه الآلة  
 الى ملكه قرائنا هما المهندسان السعي كل منهما بويارد وقد حسنها  
 المهندس يوهن كولبير فحسينا فينا ولاجل تصورها تقرض آلة قاطعة

كالومى معوجة على صورتها لوزن عمدة وملقطة على محيط اسطوانة مجوفة  
ونضع بمحاسة الاسطوانة التي يقطعها الحد القاطع من الصفائح الحلزونية  
صفحة ثابتة مستقيمة وموازية لمحور هذه الاسطوانة وتحت هذه الصفحة  
بالقرب منها جدًا بحيث يكون للقماش المراد ازالة وبره محل يوجد مسند مواز  
ايضا للصفحة الثابتة ومحور الاسطوانة فيجد احد طرفي الجوخ عند مده جدًا  
مشدودا وملقفا على قرص بكرة بخلاف الطرف الاخر فانه يكون مخلا من  
فوق اسطوانة اخرى مخصوصة وبمجرد مرور الجوخ بين المسند والصفحة  
الثابتة يلاقى صفحة حلزونية تتقدم بحسب ميلها على طول تلك الصفحة  
وتزىل جميع ما يكون بارزا على القماش من الورق فيجاوزت الآلة الحلزونية  
عرض الجوخ شرعت في ازالة الورق الآخرة حلزونية ابداً حركة من الصفائح  
الحلزونية

\*(الدرس الثالث عشر)\*

\*(في بيان ما يقع في الآلات من الاحتكاك)\*

اذا كانت الاجسام مصقولة مقلًا تأما امكن أن تتحرك على بعضها بدون أن  
يعرض لها ادى مقاومة من تماسها ببعضها فاذا يجري هنا جميع النسب  
البسيطة السهلة التي تكون بين القوى والمقاومات بدون حدوث تغيير في سائر  
الآلات التي ذكرناها على اختلاف انواعها ولكن لا يمكن أن يكون سطح  
الاجسام بهذه المثابة من بلوغ الغاية في الصقل فلان منع حينئذ من تحرك  
الاجسام على بعضها بدون أن يحصل من خشونة مسطحاتها ادى مقاومة  
تبطل هذا التحرك ومثل هذه المقاومة يعرف بالاحتكاك

فاذا اريد حينئذ معرفة المقدار الحقيقي لتأثير القوى الواقعة على الآلات لزم  
معرفة قيمة مقدار الاحتكاك وضم هذه المقاومة الجديدة الى المقاومات  
المعلوم مقدارها الحقيقي من النظريات

ومن الطبيعيين والمهندسين من يبحث بالتعاقب عن قوانين الاحتكاك سالكا



في ذلك مسلك النظريات والعمليات مثل اموتوتس وموتجورويك  
وكاموس وبوسوت فهم الذين بحثوا عن هذه المسئلة بالتعاقب الانهم  
لم يوفوا بما حثوا على ما ينبغي فاعتنى بتكميلها الشهير كلب بتجارب بدبعة  
ونوضحات عظيمة تدل على فطنته وجودة قريحته

فينبغي الزام كل من تصدى لتكميل فنون الصناعة بالنسج على منوال  
كلب في النظريات المتعلقة بالالات البسيطة مع الالتفات الى احتكاك  
الاجزاء الصلبة وانكماش الحبل ليظهر لهم بواسطة التجارب التي يشربون  
فيها انه يمكن وضع قواعد تسهل بها الحسابات التي لا يمكن معرفتها بمجرد  
النظريات بل لابد في ذلك من ضخمة تلك التجارب اليها

فلنفرض قبل الشروع في معرفة تأثير سطعين يقرحلقان على بعضهما جسما  
موضوعا على مستوئ مثل ميلا كافيا فيازم بمقتضى الدعوى النظرية المقررة  
في شأن المستوى المائل ان الجسم يسقط بتأثير التناقل مع سرعة مجله تكون  
نسبتها السرعة المجله لهذا الجسم الساقط بدون معارضة على مستقيم رأسي  
كنسبة ارتفاع المستوى المائل الى طوله ومع ذلك قد يكون الجسم ساكنا  
من ذلك الورق والريش والدوامات التي توضع غالبا على لوح التخته المائل بدون ان  
تتزلز على طول هذا المستوى فتكون بالبداهة مقاومة الاحتكاك اكبر من  
قوة التناقل فاذا املنا بواسطة الاحتكاك هنا المستوى المستقر عليه تلك  
الاجسام شيئا فشيئا فاننا نصل الى الوضع الذي يكون مبدأ التحرك هذه الاجسام  
وهو وضع يكون فيه تناقل الجسم من مبدأ الامر اكبر من مقاومة الاحتكاك  
فعلى ذلك لا مانع من سلوك هذه الطريقة في معرفة درجة الاحتكاك الحادث  
بين اجسام متنوعة عند تحركها على بعضها ويسنبت من ذلك عدة فوائد  
مهمة

مثلا اذا كانت الاجسام موضوعة على المستوى المائل منذ مدة فانه لا تأخذ  
في التحرك عليه الا اذا املنا اكثر مما اذا وضع على مستوييه معلوم وحصلت  
امالته بان الوضع فعلى ذلك اذا استقرت الاجسام مدة من الزمن على مستوي

مادى فانها تكتسب بذلك نوع التصاق به تزداد الموانع التي يلزم الظهور عليها والتفريغها

ولنؤثر على هذه الطريقة الطريقة التي جرى عليها كلب مع بيان آتية فتقول

ان تلك الالة عبارة عن تازجة صلبة (شكل ١) مثبت عليها الوحان كلوحى م م و م م غليظان ومتوازيان ومتلاصقان وكل من اطرافهما يزيد في الطول على التازجة وبين النهايتين البارزتين من احد طرفي اللوح قرص بكرة محوره على اللوحين المذكورين كقرص ر وعلى النهايتين البارزتين من الطرف الاخر منحنون افقى كمنحنون ط ط

وعلى هذين اللوحين الغليظين نخشبية من الألواح كخشبية ح ح جيدة الصقل يزيدان عنها في الطول نحو متر ونصف وهى التي تتزحلق عليها الاجسام التي يراد عند فتح ككها معرفة مقاومتها الناشئة عن الاحتكاك وهذه الاجسام مسطحات من الخشب (شكل ٣) على اطرافها حالتا ث و ث الممتدة احدهما لاسالك طرف الحبل الذي يلتف على عمود المنحنون (شكل ١) وهذا الطرف هو محل تأثير القوة والثانية لاسالك طرف الحبل الذي يبرز بخلق قرص البكرة ويوجد على هذا الحبل تارة كفة ميزان ككفة ب (شكل ١) يوضع فيها انقال بقدر ما يراد لاجل تبويب القوة وتارة رافعة كرافعة ل (شكل ٢) تؤثر في هذا الحبل بواسطة ثقل كذراع القبان

ثم ان اول عملية اجراها كلب بموجب هذه الطريقة هو انه وضع على لوح الاختبار رقالة (شكل ٣ او ٤ او ٥ او ٦) تتزحلق على هذا اللوح ثم تستقر لحظة من الزمن

وكان كل من النقالة (شكل ٣) واللوح المذكورين من خشب البلوط وهذا النوع من الخشب اذا استقرت عليه النقالة مدة نائية او ثمانية او ثلاث

فوان الى عشر ثوان فلا بد في تحريركهما من قوة كبيرة غير أن القوة التي تستعمل عقب دقيقة في بدء تحريك النقالة وهي قوة الضغط تكون مع قوة مقاومة الاحتكاك في نسبة لا تتغير الا من ١٠٠ : ٢٢١ الى ١٠٠ : ٢٤٦ وان كانت الانضغاطات تختلف من ٢٧ كيلوغراما الى ١٢٣٠ كيلوغراما

ولاجل معرفة التأثير الناتج عن سطح الاحتكاك الممتد كثيرا او قليلا يسمر بأسفل النقالة منشوران من البلوط منشوري ط و ط (شكل ٤) وحيث ان جزء هذين المنشورين المماس للوح الاختبار مستدير على شكل اسطوانة لم يبق لسطح الاحتكاك من العرض الامتداد يسير فيكون حيثئذ اتجاه المنشورين المذكورين موازيا لاتجاه تحريك النقالة ولا فرق هنا بين مقاومات الاحتكاك متى تحركت النقالة بمجرد وضعها على لوح الاختبار او بعد وضعها عليه بمكة يسيرة

وفي الانضغاطات التي تختلف من ٤٠٠ الى ١٣٠٠ كيلوغرام في كل متر مربع لا تختلف نسبة الضغط الى القوة اللازمة للتغلب بالاحتكاك الامن ١٠٠ : ٢٣٦ الى ١٠٠ : ٢٤٠ ومثل هذه النسبة يمكن اعتبارها ثابتة تقريبا وحيث يلاحظ انها مساوية تقريبا لنهاية الكبرى من نسبة الانضغاطات الى الاحتكاكات متى احتكت النقالة بجميع مسطح فاعلمتها على لوح الاختبار فاذا اخذنا المقادير المتوسطة في الصورتين بواسطة التجارب وجدنا الفرق بينهما لا يبلغ واحدا من ثلاثة وعشرين

فاذا كان الضغط صغيرا كان الاختلال كبيرا واذا كانت الاجال كبيرة لم يظهر التخلل وتكون نسبة الضغط الى مقاومة الاحتكاك ثابتة تقريبا مهما بلغ امتداد السطح الواقع عليه الاحتكاك

ثم انهم بعد أن اختبروا احتكاك البلوط على البلوط اختبروا ايضا احتكاك الراتنج على البلوط استبدلوا المنشورين المصنوعين من خشب البلوط الموضوعين اسفل النقالة بمنشورين من خشب الراتنج

وإذا تحركت النقالة بعد وضعها على لوح الاختبار بمدة يسيرة فإن مقاومة الاحتكاك تنصغر ما أمكن لكنهما بعد عشر ثوان تكبر بمقدار ما تبلغه بعد مائة ساعة

فإذا بلغت مقاومة الاحتكاك نهايتها الأصلية بواسطة تأثير حمل عظيم كانت نسبة الضغط الى هذه المقاومة هي نسبة ١٥٠ : ١٠٠

وإذا بُنيت على لوح الاختبار قاعدتين من الراتنج فترحل عليهما النقالة التي استعملناها في التجارب المتقدمة فانه عند احتكاك الراتنج على الراتنج بهذه المثابة تكون دائما ادى مقاومة للاحتكاك حاصلة متى تحركت النقالة بانزوعها على لوح الاختبار الا انه اذا مضى على تلك المقاومة عشر ثوان كبرت بقدر ما لومضى عليها ساعة وفي هذه الصورة تتغير نسبة الانضغاطات الى المقاومات من ١٨٥ : ١٠٠ اذا كان الضغط صغيرا الى ١٧٧ : ١٠٠ اذا كان كبيرا

ويحصل اختبار احتكاك خشب الدرदार على الدرदार بالكيفية المتقدمة وهي أن يسجر منشوران بأفعل النقالة وقد ذكر كلب أن خشب الدرदार الذي يمد منه الانسان عند اللبس لطافة ونعومة كالقطيفة هو في التصاقه ببعضه اشدي بطن من سائر الاخشاب المتقدمة ويظهر به ازدياد الاحتكاك بعد مضي عدة ثوان ولا يبلغ نهايته الكبرى اذا كان الضغط يساوي ٢٢ كيلوغراما الا بعد استقرار الخشب اكثر من دقيقة وعلى ما ذهب اليه هذا العالم الطبيعي من أن الضغط يتغير من ٢٢ كيلوغراما الى ٨٣٠ كيلوغراما تكون نسبة الضغط الى مقاومة الاحتكاك من ٢١٤ : ١٠٠ ومن ٢١٨ : ١٠٠ وهاتان النسبتان لكون ما بينهما من الفرق قليلا جدا يصح اعتبارهما متساويتين في سائر نتائج العمليات المحضة

ولنذكر لك هنا ما بين نقل النقالة وحملها ومقاومة الاحتكاك الناشئة عن هذا النقل من النسب المتوسطة المستتلفة من التجارب السابقة فنقول انه يحدث

٢٣٤ : ١٠٠	عند احتكاك البلوط على البلوط
١٥٠ : ١٠٠	وعند احتكاك البلوط على الراتنج
١٧٨ : ١٠٠	وعند احتكاك الراتنج على الراتنج
٢١٨ : ١٠٠	وعند احتكاك الدر دار على الدر دار

وفي سائر التجارب التي اسلفنا الكلام على نتائجها يكون ترزلق الاخشاب على بعضها في اتجاه عروق الخشب وقد وجهت في تلك التجارب المتواليات عروق منشوري ط ط المسحرين باسفل انقالتين اتجاهها عوديا على عروق خشب لوح الاختبار ( شكل ٥ ) وعلم مما سبق انه لا بد من استقرار الخشب مدة من الزمن حتى تبلغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى وان نسبة الضغط بلغت من ٢٥ كيلوغراما الى ٨٢٥ والنسبة بين هذا الضغط ومقاومة الاحتكاك هي دائما ثابتة تقريبا فانها عند احتكاك البلوط على البلوط مع قطع النظر عن عروق الاخشاب المتماثلة تكون

٣٨٥ : ١٠٠ في الانضغاطات الصغيرة

٣٦٧ : ١٠٠ في الانضغاطات الكبيرة

وعند عدم المانع تعظم الفائدة في احتكاك الاخشاب على بعضها اذا كانت عروق القطع المتماثلة متجهة على بعضها اتجاهها عوديا عوضا عن كونها ترزلق على عروق قطعتين متماثلتين

ثم ان احتكاك المعادن على الاخشاب ( شكل ٦ ) لا بد فيه من مكث الجسمين . فمابين زمتا طويلا حتى تبلغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى واقل ما يلزم لذلك اربع ساعات او خمس بخلاف احتكاك الاخشاب على بعضها فان الدقة الواحدة تكفي في كون المقاومة تاخذ في الازدياد من زمن الى آخر فلا بد في الصورة الاولى من طول المدة حتى تمنع هذه المقاومة عن الازدياد بالكلية

فاذا استقر الجسمان على بعضهما اربعة ايام تغيرت نسبة الانضغاطات الى مقاومة الاحتكاك من ٥٣٠ : ١٠٠ الى ٤٨٦ : ١٠٠

إذا كان تغير الانضغاطات من ٢٦ كيلوغراما إلى ٨٢٥ كيلوغراما ويحدث من النحاس مثل هذه النتائج في الزمن الذي تبلغ بآره مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى وفي نسبة الضغط إلى هذه المقاومة وهي ١٠٠ : ٥٠٠

وبعد ترزلق المعادن على الخشب يسمر على لوح الاختبار (شكل ٧) قاعدتان من الحديد في غاية من الأحكام والصقل ترزلق عليهما قاعدتان أخريان من الحديد أيضا مثبتتان أسفل النقالة وفي هذه الصورة تظهر من أول وهلة أعظم مقاومة للاحتكاك فتكون النسبة على هذا التوالي قدر الضغط ضغط مقاومة الاحتكاك

$$\left. \begin{array}{l} ٢٥ \text{ كيلوغراما} \\ ٢٢٥ \text{ كيلوغراما} \end{array} \right\} \text{احتكاك الحديد على الحديد} :: ١٠٠ : ٣٤٠ :: ١٠٠ : ٣٦٣$$

فيمكن أن نعتبر مقاومات الاحتكاك هنا مناسبة للانضغاطات تقريبا وكذلك الحديد إذا احتك على النحاس الأصفر فإن نسبة الانضغاطات فيه إلى مقاومة الاحتكاك تكون بهذه الصورة

قدر الضغط

$$\left. \begin{array}{l} ٢٥ \text{ كيلوغراما} \\ ٢٢٥ \text{ كيلوغراما} \end{array} \right\} \text{احتكاك حديد على نحاس أصفر} :: ١٠٠ : ٣٦٠ :: ١٠٠ : ٤٠٠$$

فإذا احتك الحديد على النحاس الأصفر وكانت أبعاد سطوح التماس صغيرة ما أمكن بأن جعل مثلاً على قاعدتي النقالة المتخذتين من الحديد أربع مسامير من النحاس رؤسها مستديرة ومثبتة بأسفل النقالة حدثت هذه النسبة وهي الضغط مقاومة الاحتكاك

$$\left. \begin{array}{l} ٤٣ \text{ كيلوغراما} \\ ٤٢٥ \text{ كيلوغراما} \end{array} \right\} \text{احتكاك الحديد على النحاس الأصفر} :: ١٠٠ : ٥٩٠ :: ١٠٠ : ٦٠٠$$

وهذه التجربة مترتبة على تنبيه مهم وهو أنه بمجرد ما تتحرك على قاعدتي الحديد النقالة المحاطة بمسامير من نحاس تكون النسبة ١٠٠ : ٥٠٠ ولكن

بعد حصول التحرك عدة مرات يصقل الحديد والنحاس صقلا تاما بواسطة احتكاكهما على بعضهما فتصير هذه النسبة ٦٠٠ : ١٠٠ وبذلك تنقص مقاومة الاحتكاك وحيث أن فالا حجار والزلزل وسائر الآلات التي تستعمل في الصقل لا تزال خشونة سطوح الاجسام بالكلية وانما يزيلها الاستعمال بواسطة الانضغاطات العظيمة التي تحصل عند سرعه تحرك الآلات

وفي كثير من الفنون اذا اريد تقيص مقاومة احتكاك سطعين يتزحلقان على بعضهما يوضع بينهما اجسام دسمة كالزيت والدهن وشحم الخنزير القديم وما اشبه ذلك وهذا هو ما يغلب استعماله في ذلك الغرض ولا بد من معرفة الدرجة التي تبلغها الادهان في تقيص المقاومات وقد استعمل كلب في مبداء الامر التضم النقي

ولا تبلغ المقاومة بهذا الدهن نهايتها الكبرى الا بعد مضي مدة طويلة جدا فاذا مضت خمسة ايام او ستة كبرت هذه المقاومة عما كانت عليه أولا بنحو ١٤ مرة اذا كان سطح النحاس كبيرا بالنسبة للضغط واما اذا كان صغيرا فان نسبة الانضغاطات الى المقاومات تبلغ نهايتها الكبرى سريرا

وقد وضع الدهن في التجارب المتقدمة مدة يسيرة ووضع ايضا فيما بعده من التجارب مدة ثمانية ايام فكان على غاية من الصقل الا أن دسامته قلب عما كانت عليه أولا وكانت ايضا مدة استقرارها تأثير عظيم في مقاومة الاحتكاك ولوحظ أنه اذا استقر قدر هذه المدة حدث عنه مقاومة ادنى من مقاومة الدهن الموضوع منذ مدة يسيرة

ثم ان كلب اوضح الاحتكاك بين قاعدتين من النحاس مثبتتين بأفضل النقالة واخر بين من الحديد مثبتتين بطوح الاختبار ومد هوتين بشحم جدي يبلغ سمكه ٥ ملير تقريبا فازدادت مقاومة الاحتكاك في مبداء الاستقرار ثم بلغت نهايتها الكبرى بعد مضي مدة يسيرة

واذا قطعنا النظر عن التصاق السطحين المتماسين الذي هو كناية عن كمية ثابتة

حدث عن تحريك النقالة بدون واسطة أن مقاومة الاحتكاك تكون مناسبة للانضغاطات في نسبة ١٠٠ : ١١١٠ ولما كان تأثير الالتصاق كما ذكرنا مهملا بالنسبة للاجمال العظيمة كان للدهن فائدة عظيمة اذ بدونه يحدث من ضغط قدره ٦٠٠ كيلوغرام ١٠٠ كيلوغرام من مقاومة الاحتكاك بخلاف ما اذا كان الدهن بالشحم فلا تحصل المائة المذكورة الا بضغط قدره ١١١٠ كيلوغرام وبالجملة فحق كانت السطوح مدهونة بالشحم لم تتغير نسبة الانضغاطات الى المقاومات الاحتكاك اصلهما كان امتداد السطوح التماسية وهذا اذا كان مقدارها غير مناسب للضغط بالكلية وايضا قد يكون هذا الضغط صغيرا قدر ما يراد من غير أن تتغير النسبة فانما لم تتحرك النقالة الا حين بلوغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى كانت النسبة عند استخراج تأثير الالتصاق هكذا

٩١٠ : ١٠٠ في الانضغاطات الصغيرة

٩٩٠ : ١٠٠ في الانضغاطات الكبيرة

واذا حصل الدهن بزييت الزيتون عوضا عن الشحم بلغت مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى من مبداء الامر تقريبا وكانت مساوية  $\frac{1}{4}$  الضغط وربما تغيرت من  $\frac{1}{4}$  الى  $\frac{1}{5}$  اذا استعمل في الدهن شحم الخنزير القديم فعلى ذلك يكون الشحم الجديد اعظم تمسكا في صورة ما اذا كان الاحتكاك بين النحاس والحديد

ولا يكفي في الظفر بالمقاومة الحاصلة لتحريك جسم حين استقراره على سطح مجرد معرفة القوة اللازمة لذلك بل لا بد ايضا من معرفة الكيفية التي تتغير بها المقاومة على حسب ما يكون للجسم من السرعة الكبيرة ثم ان الالة التي سبق ذكرها هي المستعملة في ذلك دائما غير أن رمانة القبان (شكل ٢) التي الغرض منها أن يكون للجسم في التحرك أقصى درجة تسبيل بالحبل والكفة (شكل ١) الحاملة انتقالا بواسطتها يكون للجسم سرعة مجهلة فيحصل الاحتكاك مع الخفاف بدون دهن وتحرك النقالة على لوح الاختيار بما تحمله تدريجيا من



الاتقال التي يحدث منها هذه النقلة بسرعة تكبر شيئا فشيئا  
 وإذا كانت النقلة موضوعة على لوح الاختبار وحاملة لتقل يطلب معرفة  
 تأثيره فالتأثير على الكفة بالتوالي اتصالا منقوعة ثم تحرك النقلة تارة بدق  
 المطرقة دقات خفيفة وتارة بدفع النقلة من خلفها بواسطة رافعة ويوجد  
 في احداطراف لوح الاختبار الطولية تقاسيم مضبوطة بحيث تدل نهاية  
 النقلة عند قطع هذه التقاسيم على المسافات المقطوعة وبالجملة فتقدر  
 مدة التحركات بكيفية ترجح على غيرها في التجارب القليلة المضبط المراد  
 علمها وهي كيفية البندول الذي يحك كل رجة من رجاته نصف ثانية  
 ويلزم ملاحظة القوة التي لا بد منها في سبب تحرك النقلة ثم تستعمل في اثناء ذلك  
 قوة متوسطة وفي الآخر تستعمل قوة كبيرة ويلزم ايضا ملاحظة الزمن الذي  
 لا بد منه في قطع النقلة مسافتين قدرهما ٦٦ ستقر

والزمن الذي تستغرقه النقلة في قطع المسافة الاولى هو على العموم ضعف  
 الزمن الذي تستغرقه في قطع المسافة الثانية تقريبا غير أن الجسم المتحرك بقوة  
 مجهلة ثابتة الذي يقطع مسافتين متساويتين على التعاقب يستغرق تحركا زمنا  
 تكون نسبتها الى بعضها :: ١٠٠٠٠ : ٢٠٠٠٠٠ فتستغرق  
 النقلة حيثئذ ١٠٠ وحدة من الزمن في قطع الجزء الاول من المسافة  
 و ١٤٢ وحدة ايضا من الزمن المعد لقطع الجزء الاول مع الثاني فلا يزيد  
 زمنه على الاول الا ٤٢ وحدة

فعلى ذلك يكون تحرك النقلة الناشئ عن القوة المجهلة الثابتة وهي قوة تناقل  
 الاتقال منتظم المجهلة وذلك يستلزم أن مقاومات الاحتكاك لا تقدم في كل وقت  
 الا كمية مناسبة من القوة التي يزيد بها التناقل فاذن تكون مقاومة الاحتكاك  
 كمية ثابتة مهما كانت سرعة الاجسام المتحركة

ومع ذلك اذا كانت السطوح المتحركة كبيرة فان الاحتكاك يزيد بازدياد  
 السرعة وبالعكس بمعنى انه اذا كانت السطوح المتحركة صغيرة فان الاحتكاك  
 يتقص قليلا بانقاص السرعة ايضا غير أن ما بين هاتين الصورتين من

الاختلاف لا يغير شيئاً في جودة النتيجة التي ذكرناها في اغلب العمليات وقد عين كلب بحسابات وان كانت مختصرة على قدر الكفاية الا انه يطول بيانها هنا ما بين الانضغاطات والاحتكاكات الحادثة عنها من النسب في التجارب الستة الالية التي تتنوع فيها السرعة بحيث تفوق ما يحصل في العمليات من الانضغاطات العظيمة وهالك بيان ذلك

احتكاك واقع على سطح يبلغ امتداده ١٠٥٥ سنتيمترا مربعا يحمل بهذه المثابة الالية

محرية	ضغط	نسبة
تجربة اولى	٢٥ كيلو غراما	٥,٧
تجربة ثانية	١٨٨	٩,٤
تجربة ثالثة	٢٩١	٩,٥
تجربة رابعة	٨٢٥	٩,٤
تجربة خامسة	١٧٨٨	٩,٢
تجربة سادسة	٦٥٨٨	١٠,٤

وفي هذه التجارب يكون اتجاه عروق خشب بلوط الثقالة هو من اتجاه عروق خشب لوح الاختبار ثم توجه عروق خشب الثقالة اتجاهها عوديا على عروق خشب لوح الاختبار ومن وقتئذ لا يحصل في نسبة الانضغاط الى الاحتكاك الا تغير طفيف جدا سواء كانت السطوح المتحاسة منسعة او كانت قضايا ضيقة كحدود السكاكين الغليظة وقد اورد كلب في ايضاح هذا التغير عبارة قديمة لا بأس بآراءها هنا فنقول

اذا كانت القواعد المصنوعة على صورة خابور والمثبتة باسفل الثقالة تتحرك على عروق الخشب فان قط لوح الاختبار تصل الى اطراف القواعد فتبقى هناك مضغوطة حتى تقطع الثقالة مسافة بحد طولها وحيث ان طول الثقالة ٤ ديسيمترات فاذا كان التحرك مثلا ٤ ديسيمترات في كل ثانية فان كل قطعة من نقط اللوح تضغط مدة ٤ نوان وحيث يحدث من عدم تساوى السطوح

الناسي عن التصاقها ببعضها مقاومة بها تتغير الصورة التي تكون لها عند الانضغاط ومع ذلك فالمدّة المذكورة التي هي ٤ ثوان تكفي في تغيير صورة تلك السطوح ونحن جزئنا منها على ذلك إذا كانت الثقالة المستندة الى زاوية مستديرة تترك على عروق الخشب فان الاحتكاك يصغر بالنسبة في الانضغاطات الكبيرة والصغيرة واما اذا كانت هذه القواعد المصنوعة على صورة خابور موضوعة في طرف الثقالة فان كل قطعة من قطوع الاختبار عند تحرك الثقالة لا تكون مدّة انضغاطها الا بقدر مرورها على الزاوية وهذه المدّة ليست طويلا بحيث تكفي في تغيير عدم التساوي تغيرا ينافي لزم اذن أن يكون الاحتكاك في هذه الصورة كالاحتكاك في صورة ما اذا كان امتداد السطوح متساويا وحيث أنه في كلتا صورتين لا تتغير صورة عدم التساوي الا بكمية يسيرة فان عدم التساوي المذكور يكون متداخلا في بعضه بدون مانع وجميع ما استلفناه من النتائج انما هو في صورة احتكاك البلوط على البلوط واما في صورة احتكاك الراتنج على الراتنج والدردار على الدردار فان نسبة الضغط الى الاحتكاك تكون على هذا الوجه

راتنج على راتنج ٦ : ١

دردار على دردار ١٠ : ١

وفي صورة مماسة الاخشاب للمعادن يكون الاختلاف اظهر عما في صورة مماسة الاخشاب للاخشاب

فثبت من مبدء الامر باسفل الثقالة قواعد من حديد معدة للاحتكاك على لوح الاختبار المتخذ من البلوط واما ما كان الضغط بالنسبة الى السرعة الهيئة يكون الاحتكاك على الثلث من هذا الضغط تقريبا وتكون نسبة ضغط الثقالة الى القوة التي تسيرها في كل ثانية خطوة كنسبة ٦ : ١ وهذا الفرق العظيم الواقع في النسبة لا يحصل عند ازدياد السرعة في السطوح الصغيرة الخمسة التي تضغطها افعال كبيرة ولا في الاخشاب المصنوعة ويكاد يطل تأثير السرعة في الاحتكاك اذا مضى بعد الاحتكاك عدة ساعات

وفي جميع التجارب الا في ذكرها تكون الاجسام الثماسة مغمورة بالدهن  
والذي يلايم تقيص احتكاكها لاختلاف من الادهان هو الشحم ودهن الخنزير  
القديم واما الزيت فلا يستعمل الا في المعادن ولما كانت الادهان من الاجسام  
الينة الرخوة كان تطبيقها لاحتكاك السطوح انما هو بملء تجاويف  
تلك السطوح بالادهان المذكورة وتوسيطها بينها وجعلها على بعد واحد  
من بعضها وهذا هو السبب في أن الادهان الشديدة الرخاوة تكون دائما رديئة  
جدا بالنسبة للانضغاطات العظيمة فاذا كانت السطوح الثماسة زوايا  
مستديرة قصت الادهان احتكاكها الثقالة قليلا واذا مررت الثقالة التي لها  
سطح تماس كبير مرتين او ثلاثا على شحم واحد شوهد أن هذا الشحم ينطبق  
على اللوح ويدخل في مسام الخشب ولا يقاوم نعشق الاجزاء بعضها الامقاومة  
واهية وقد ازداد الاحتكاك ازديادا عظيما في عدة تجارب تكرر استعمالها  
بدون تجديد دهن ولذا ذكرنا هنا قبل أن نتكلم على التجارب الحاصلة  
في صورة دهن الخشب في كل مرة السبب الذي ينشأ عنه غالبا عدم ضبط  
النتائج فنقول

اذا تم الصانع عمل لوح الاختبار والثقالة واهتم كل الاهتمام بتحسين سطوحهما  
وصقلهما بالقارة الكبيرة اوراق السمك او بزحلقتهما على بعضهما عدة مرات  
وهما جافان فالتامع ذلك نرى عند دهن السطوح انه ينشأ عنها في الاحتكاك  
مقدار كبير من عدم التساوي يعظم بقدر كبر امتداد السطوح وصغر الضغط  
وبه يزداد الاحتكاك ازديادا ظاهرا بالنسبة لازدياد السرعة وليس لهذا  
الاختلاف قواعد صحيحة تضبطه ولا برهان نظرية تحققة غير أن الثقالة  
اذا تمزقت بمعاونة الدهن بالشحم او دهن الخنزير القديم عند تأييم متوالية  
وكان عليها انتقال جسمية كان الاحتكاك دائما مناسبا للضغط تقريبا وبذلك  
لا تزيد النسبة بزيادة السرعة الا زيادة معينة

ولاجل تعيين تأثير الدهن بالشحم الذي يتجدد في كل تجربة من التجارب  
الاثنية في احتكاك البلوط على البلوط تستعمل الثقالة التي استعملت

منذ ثمانية ايام في التجارب الحاصلة في شأن الاحتكاك وقد جرب الدهن  
بالشمع المتجدد في اغلب المرات اكثر من مائتي مرة وكان الواقع على كل دسيترا  
مربع ضغط ستة قناطر

ظهر في الخشب الاول من تلك التجارب اختلاف عظيم وكان ما بعد هادونها  
في الضبط وكان كل من القالة ولوح الاختبار يظهر أنه قد بلغ الغاية في الصقل  
الذي يقبله خشب البلوط وهالك نتيجة التجارب الستة التي علمت في شأن  
سطح قماش يبلغ امتداده ١٣ دسيترا مربعا

$$\text{تجربة اولى} \quad ٢٧,٦ = \frac{٣٢٥٠}{١١٥} = \frac{\text{ضغط}}{\text{احتكاك}}$$

$$\text{تجربة ثانية} \quad ٢٥,٨ = \frac{١٦٥٠}{٦٤} =$$

$$\text{تجربة ثالثة} \quad ٢٣,٦ = \frac{٨٥٠}{٣٦} =$$

$$\text{تجربة رابعة} \quad ٢١,٥ = \frac{٤٥٠}{٢١} =$$

$$\text{تجربة خامسة} \quad ١٨,٥ = \frac{٢٥٠}{١٣,٥} =$$

$$\text{تجربة سادسة} \quad ٧,٧ = \frac{٥٠}{٦,٥} =$$

والنتيجة هنا مشكلة من وجهين احدهما المقاومة الثابتة الناشئة  
عن التصاق اجزاء الشحم ببعضها واستداد السطوح والثاني المقاومة الناشئة  
عن مجزؤ الاحتكاك اذا طر حان هذا الكمية الثابتة حدث

$$٢٨,٧ = \frac{٣٢٥٠}{١١٣} = \frac{\text{ضغط}}{\text{احتكاك}} \quad \text{تجربة أولى}$$

$$٢٧,٩ = \frac{١٦٥٠}{٥٩} = \quad \text{تجربة ثانية}$$

$$٢٧,٤ = \frac{٨٥٠}{٣١} = \quad \text{تجربة ثالثة}$$

$$٢٨,١ = \frac{٤٥٠}{١٦} = \quad \text{تجربة رابعة}$$

$$٢٩,٤ = \frac{٢٥٠}{٨,٥} = \quad \text{تجربة خامسة}$$

$$٢٨,٦ = \frac{٥٠}{١,٧٥} = \quad \text{تجربة سادسة}$$

وما ذكرناه من التفاصيل يكفي في بيان حكمة تجارب كلب المتواليات التي عملها في شأن احتكاك عدة أنواع من الخشب على بعضها واحتكاك الخشب على معادن واحتكاك المعادن على معادن مدهونة وذلك لا يخرج عن الصور الآتية وهي

أولاً أن يحدث عن احتكاك الأخشاب المترحلة على بعضها وهي جافة بعد استقرارها مدة كافية مقاومة مناسبة للانضغاطات تزيد في مبادئ الاستقرار زيادة يئنة إلا أنها تصل في العادة بعد مضي بعض دقائق إلى حدّها أو نهايتها الكبرى

وثانياً إذا كانت الأخشاب تترحل على بعضها بسرعة ما وهي جافة فإن الاحتكاك يكون أيضاً مناسباً للانضغاطات إلا أن شدته تكون دون المقاومة الحاصلة عند الاجتهاد في فصل السطوح عن بعضها بعد مضي بعض دقائق من الاستقرار فتكون مثل نسبة القوة اللازمة لفصل سطحين من البلوط وترحلتهما على بعضهما بعد مضي بعض دقائق من الاستقرار إلى القوة اللازمة للظفر بالاحتكاك عند اكتساب السطوح درجة ما من السرعة

كسبة ٩٥ : ٢٢,٢ او ١٠٠ : ٢٣

وثالثاً أن يكون احتكاك المعادن المترحلة على المعادن بدون دهن مناسباً أيضاً للانضغاطات إلا أن شدته لا تختلف سواء كان المطلوب فصل السطوح عن بعضها بعد مضي زمن ما من الاستقرار أو كان المطلوب بقاء أى سرعة منتظمة

ورابعاً أن تكون نتائج احتكاك السطوح المختلفة كالأخشاب والمعادن المترحلة على بعضها بدون دهن مختلفة بالكلية للنتائج المتقدمة لأن شدة احتكاك تلك السطوح بالنظر إلى زمن الاستقرار تزيد مع البطء ولا تدل إلى حد ما إلا بعد مضي أربعة أيام أو خمسة وربما زادت على ذلك لكنها في المعادن تصل اليه بعد مدة من الزمن وفي الأخشاب بعد مضي بعض دقائق وهذا الازدياد يكون أيضاً بطيئاً بقدر ما تكون مقاومة الاحتكاك في السرعة غير البينة مساوية تقريباً للمقاومة التي يمكن مجاورتها عند ارتفاع السطوح أو اتصالها عن بعضها بعد مضي ثلاث نوات أو أربعة من الاستقرار وليس ذلك عاماً في جميع الصور فإن السرعة في الأخشاب المترحلة على بعضها بدون دهن وكذلك في المعادن المترحلة على بعضها لا تؤثر في الاحتكاك كالتأثيرات هنا ولكن الاحتكاك هنا يزيد زيادة بينة بازدياد السرعة وبالجمله فالاحتكاك يرد على وجه التقريب الحسابي بازدياد السرعة على وجه التقريب الهندسي ولنذكر كذا قضية كلب النظرية فنقول

لا يتأتى الاحتكاك إلا من انقباض خشونة السطوح ببعضها ولا يؤثر فيها الالتصاق إلا تأثيراً هيناً لأن الاحتكاك في سائر الأحوال مناسب تقريباً للانضغاطات ولا علاقة له بامتداد السطوح وحيث يكون الالتصاق بالضرورة مؤثراً على حسب عدد نقط التماس أو على حسب امتداد السطوح ومع ذلك فلا يمكن هذا الالتصاق ليس معدوماً بالكلية بل أن الجهد في تعيينه بالتجارب السابقة المتنوعة فوجدناه يساوى لمحو ٨ كيلوغرامات في كل متر مربع من سطوح البلوط غير المدهونة ولكن يمكن

في العمليات اجمال المقاومة الحاصلة من هذا الالتصاق كلما كثر  
الكيلوغرامات على المتر المربع

ولست السطوح فيلزم من العمليات متغيرة عن اصلها بالدهن فعلى ذلك  
لا يمكن أن تتغير الحوادث الا تغيرا لا يمتنع في طبيعة الاجزاء التي تتركب منها  
الاخشاب والمعادن وذلك لان الاخشاب مركبة من الياض ممتدة واجزاء لينة  
مرنة والمعادن بعكسها فهي مركبة من اجزاء منزوية كروية صلبة غير قابلة  
للانثناء بحيث لا يمكن للضغط والجذب ولولو بلغا أقصى الدرجات أن يغيرا صورة  
الاجزاء المتركة منها سطح تلك المعادن واما الياض المتنوعة التي يتركب منها  
الخشب فيسهل انشاؤها في سائر الجهات

ولاجل تقريب ما ذكر قول ان الياض التي تستر سطح الاخشاب تتداخل  
في بعضها كشعور القرستين عند ملاقاتهما

فاذا اريد تحصيل درجة الجذب الذي لا يمتنع في زحلقه احدى القرستين  
على الاخرى لم اختبار وضع الشعور في الزمن الذي يلزم فيه الاجتهاد في فصل  
القرستين عن بعضهما بعد مضي مدة من الاستقرار وكذلك يلزم اختبار  
ما تكون عليه الشعور من الوضع المخالف متى كان لكل من القرستين عند  
ترحلقهما على بعضهما تحرك اياها كان

فلو وضعت حينئذ تخشيب جيدة العقل على اخرى تداخلت الياض التي  
على السطوح في بعضها بدون مانع

فاذا اريد الآن زحلقه التخشيبية العليا على السفلى فان الياض هذين السطحين  
تلتقي على بعضها حتى تناس بدون تعشق ومتى وصلت الياض المتجاسة الى هذا  
الوضع لم يتأت ميلها اكثر من ذلك وتكون زاوية ميلها المتعلقة بسلك الياض  
واحدة في جميع درجات الضغط فعلى ذلك لابد في جميع درجات الضغط من  
قوة تناسبه حتى لا تعشق الياض التي تترحل على بعضها بحسب زاوية  
هذا الميل

ولكن اذا انفصلت النقالة واستمرت على الترحلق انعدم تعشق الياض



وبانعدامه يتخلل الالياف المتجاورة من سطح واحد فراغ فميل تلك الالياف على بعضها حتى تماس وبناء على ذلك تكون زاوية ميلها اعظم من المتقدمة الآن هذا الميل يكون واحدا في سائر درجات الضغط فعلى ذلك يلزم في السطوح المتمركزة أن يكون الاحتكاك مناسباً للانضغاطات ولا يحصل تغير في هذه القاعدة الا اذا آلت السطوح التماساً الى اصغرها بعد هالائه اذا وقع على الاجزاء الداخلة من السطوح تأثير انضغاطات عظيمة ~~امكن~~ ميل الالياف ايضا وقد وجدنا ذلك في النقالة الموضوعة على زاويتين مستديرتين من البلوط عند ترحلقها على عروق الخشب

وبالقاعدة المذكورة يسهل ايضاح هذه الملاحظة وهي انه متى ترحلت قواعد البلوط الحاملة للنقالة في جهة طولها وانضغطت تقط لوح الاختبار الثابت الموضوعة تحت هذه القواعد في المدة التي تستغرقها النقالة في قطع طولها كان هذا الزمن كافياً في ارتفاع السطوح وميل الالياف ميلاً كثيراً بحيث تكون اطرافها متماسة لكن اذا كانت الروايا الحاملة للنقالة موضوعة في طرف النقالة ومارة منها فان تقط تماس الالياف مع لوح الاختبار الثابت لا تجد زمناً ترتقي فيه بكيفية محسوسة لعدم وقوع تأثير الانضغاط عليها الا في مدة يسيرة وتكون نسبة الضغط الى الاحتكاك واحدة في سائر الانضغاطات ~~كبيرة~~ كانت او صغيرة

وليست المعادن مركبة من الالياف ولا من اجزاء لينه ولا يتغير وضع تقويف شكلها على اى حالة كانت فعلى ذلك اذا كانت النقالة متمركزة او ساكنة فان شدة الاحتكاك تكون واحدة دائماً لان لها تعلقاً بصورة العناصر المادية التي تتركب منها السطوح ويميل المستوى المماس في نقط التماس فاذا ترحلت الاخشاب على المعادن دخلت ألياف الخشب المرنة في التجويفات وحيث ان تلك الالياف لينه مرنة كان دخولها في التجويفات المذكورة تدريجياً فعلى ذلك تزداد مقاومة الاحتكاك كلما طال زمن الاستقرار الذي يعقب الجهد المبذول لاجل ترحلق السطوح على بعضها ولكن اذا فرضنا

أن الثقالة متحركة فان صورة الالياف التي تستر سطوح الخشب ترتقي عند ملاقاتها لخشونة المعدن لتجتاز رؤس هذه الخشونات وهذا اللين ضروري لا بد منه حتى تكون مقاومة مرونة الالياف مناسبة للضغط فيكون حيثئذ الاحتكاك في السرعة الغير اللينة مناسباً ايضاً للضغط كما دلت على ذلك التجربة فاذا تحركت الثقالة بسرعة ما فحين ان تجويفات سطح المعدن متسعة بالنسبة لسمك الياف الخشب فان هذه الالياف بعد مرورها على خشونات السطوح المعدنية يرتفع جزء منها على صورة جلبة من الياف فيانم اذن اثناؤها اثناء جديداً حتى تجتاز ما بقي من الخشونات ويكثر اثناؤها كلما عظمت السرعة فاذن يزداد الاحتكاك بموجب قانون السرعة ولكن مع ذلك كلما اخذت السرعة في الازدياد يكون اثناء الالياف على شكل زاوية صغيرة لان تلك الالياف عند مرورها من خشونة الى اخرى لا تجد مناسقاً تسقيم فيه استقامة نامة

ولما كانت سطوح التماس في احتكاك الاخشاب والمعادن المدهونة بالشمع على بعضها عبارة عن زوايا مستديرة لم يكن للسرعة تأثير في الاحتكاك عند ترحلق القواعد على عروق الخشب ومثل هذا الاحتكاك يترأى منه أن الشمع يعلق الياف الخشب ببعضها ويزيل جزءاً من مرونتها ولتذكر هنا ملحوظة مهمة لا بد منها في هذا الموضوع فنقول لما ادار كلب بكرة من خشب الاتيا على محور من الحديد ليس به دهن وجد الاحتكاك في طرف العشرين دقيقة الاولى يزداد بازدياد السرعة بموجب قوانين كقوانين الاخشاب والحديد المقررة في تحرك الثقالة وذلك لان البكرة في هذه الصورة جديدة ومع ذلك فبعد استغراق الاحتكاك المتواصل بالانظر الى سرعة الدوران مدة ساعتين ينعدم من الالياف معظم مرونتها ويكاد الاحتكاك أن لا يزداد بازدياد السرعة ومثل ذلك ينشأ بسرعة عند دهن المحور بالشمع فانه بعد أن يستغرق تحرك الدوران دقيقة بالنسبة الى ضغط قدره ٦٠٠ رطل يكون احتكاك البكرة المنخفضة من خشب الاتيا الموضوعة على محور

من الحديد مدهون بالشحم واحدا دائما ويكون لها درجة مامن السرعة  
واذا قابلتا بين مقاومة احتكاك الجسم له ثقل مقروض يسير الى جهة الامام  
وهو مستند على جسم آخر خال عن الدوران وبين المقاومة الحادثة من الجسم  
الاول الذي يدور على الثاني وجدنا هذه المقاومة الاخيرة دون الاولى بكثير \*  
مثلا اذا درجنا الخشب على الخشب كانت نسبة المقاومة الى الضغط بالنظر  
الى ملف صغير كنسبة ١٠٠ الى ١٦ او ١٨ وبالنظر الى ملف  
كبير كنسبة ١٠٠ الى ٦ فاذا حصل الترحلق بدون أن ندرج  
الخشب على الخشب تغيرت النسبة وصارت من ١٠٠٠ الى ٢٠٠  
او من ١٠٠٠ الى ٣٠٠ على حسب جنس الخشب فعلى ذلك اذا  
درجنا جهما مستديرا على جسم مستو بدلا عن سحبه بدون دوران زاد  
مقدار النسبة في ذلك من ١٢ الى ٢٠

وبما ذكرناه يكون استعمال الثقل في اشغال الصناعة هو الاولى والاحسن  
فاذا فرضنا أن عربة تحملها ١٠٠٠ كيلو غرام يحملها بعجلتان فان كانتا  
مثبتتين في المحور واحتكاك على ارض ذات انحدار من الخشب ولم يكن فيهما  
قضبان معدنية فان مقاومة الاحتكاك تبلغ ٢٠٠ كيلو غرام واذا كانت  
العجلة لا تدور الا بالصعوبة فان مقدار هذه المقاومة يتغير فورا ولا يبلغ الا ٦  
كيلو غرامات فما دونها فاذا فرضنا حيث أن المحور له قطر يساوي واحدا  
من خمسين من قطر العجلة فان تلك العجلة متى دارت دورا كاملا كانت كل نقطة  
من نقط بيت المحور المماس له تقطع سطعا اقصر من محيط العجلة خمسين مرة فعلى  
ذلك تكون سرعة هذا البيت عند احتكاكه على سطح ذلك المحور مساوية  
لواحد من خمسين من سرعة العجلة بالنسبة الى التقط المماس للارض وحيث  
لم يكن ثم مانع فاحتكاك العجلة على المحور يساوي واحدا من خمسين من  
احتكاكها لو استعملنا بدل العربة قاطنة وزحلقناها على الحديد ومن هنا يعلم  
ما يتقصه الثقل من مقاومة الاحتكاك لاسيما اذا تعشق بيت المحور جلب من  
النحاس لاجل تلطيف احتكاكها على حديد المحور فلم يبق علينا حيث تنفي الظفر

بالمقاومات الطاهرة المقاومة خشونة الارض والتصاقها بمحيط العجلة وهذه  
المقاومة تنقص تقصا يننا باستعمال سكة الحديد

فاذا كان المطلوب قل اجمال قنبلة لتوضع على العربات فان العتالين يرحلون بها  
على ملقات او اكر (شكل ٨)

وقد شاهدنا في بلاد ايقوسيا انهم يرفعون السفن من البحر على مستوماثل  
فيضعونها على نوع من العربات له عجلات صغيرة تجرى على سكة من الحديد  
وبهذه الطريقة لا يحتاج في رفع السفن الثقيلة من البحر الى كثير من الناس  
بل يكفي القليل منهم وقد سبق لذكر الكيفيات التي وصلت بها الصناعة الى  
تقيص مقاومات الاحتكاك وهناك احوال بعكس هذه الكيفيات تردادها  
تلك المقاومات بقدر الامكان مثلا اذا انتقلت العربات من سكة انقبية الى سكة  
منحدرة جدا ازم منعها عن أن تأخذ في سرعة مجبلة تكون عاقبتها خطرة وذلك  
يحصل باحد امرين اما أن تمنع العجلات عن الدوران واما أن تخطى على  
احتكاكها على الارض الا أن مقاومة الاحتكاك الحاصلة للعجلات في هذه  
الصورة تبرى قضائها في اسرع وقت وتجعلها غير صالحة للاستعمال ويمكن

تدارك هذا الضرر بواسطة زمام معدني كزمام ص (شكل ٩) يتعشق بمحيط  
العجلة ويتوسط بينها وبين الارض ويكون ممكبا بسلسلة مثبتة في مقدم العربة  
وهذه الطريقة لا تخلو عن الضرر ايضا وذلك انه اذا لم تكن الارض مستوية  
استواء تاما بان كان فيها شقوق او اجار عظيمة المسافة فلامانع من أن العجلة  
تنفلت من الزمام فيؤدي ذلك الى اشتداد الخطر

والاولى في منع الضرر ان نستعمل قوس دائرة من خشب او معدن بأن نضعه  
خلف احدى العجلات الكبيرة (شكل ١٠) على وجه بحيث يمكن تحريكه  
من هذه العجلة بواسطة برمة الضغط فاذا ازداد هذا الضغط نشأ عنه مقاومة  
احتكاك تناسبه ثم نعدم تحريك العجلة بعدمدة يسيرة وهذه الكيفية التي لا مانع  
من تحسينها وتلطيفها وتقويتها وزيادتها عند الاقتضاء ترجح على غيرها في عدة  
امور وهي الآن مستعملة في عربات النقل وغيرها من سائر انواع العربات

ومن المهم في الآلات الكبيرة لاسيما طواحين الهواء ومنعها عن سرعة السير  
او تلطيف ذلك بقدر ما يراد ان لم يمكن المنع المذكور وذلك لا يحصل الا بواسطة  
زمام كزمام **أبث** (شكل ١١) والمراد بالزمام هنا قوس دائرة كبيرة  
من خشب محاط من خارجه بقضيب من حديد وأحد طرفيه ثابت والآخر  
ملصوق بذراع رافعة صغيرة فاذا وقع على الذراع الكبير من هذه الرافعة تأثير قوة  
فان هذا الزمام يجبر على القرب من الجلبة الكبيرة وبذلك تشترك مع الآلة  
في التحرك وتضغط هذه الجلبة ضغطا كبيرا جدا فتكون مقاومة هذا الضغط  
كافية في تحصيل التأثير المطلوب واذا تأملت تجارب كلب في سائر  
احوالها عرفت في اى ضغط فرضته مقاومات احتكاك الازمة التي يراد  
استعمالها

ومن الآلات التي يرجح فيها الزمام على غيره الجرو اى العيار ان يدون ذلك  
لا يمكن للشغالة التفريق تلك الآلة على الحمل المطلوب رفعه الا يذل مجهودات  
تكني في ذلك واللاتحركت تتحرك كانهن بسرعة بحيث يترتب على ذلك عوارض  
عظيمة واخطار جسيمة ويرجح استعمال الزمام ايضا في الطارات الكبيرة  
المستديرة كما سبق بيانه في طواحين الهواء لان التأثير للحادث عنه يمنع من  
وقوع الضرر بالكلية

ويوجد بمدينة لندرة مخازن يقال لها مخازن الدول بها مخبونات فيما مثل  
هذا الزمام وهي معدة لادخال البضائع في تلك المخازن واخراجها منها فلذا اريد  
تنزيل هذه البضائع من المخبونات اقلت متويلا تها دفعة واحدة فيبسط الحمل  
بالسرعة الناشئة له عن تناقله ويكون احد مهرة الشغالين قابضا بيده على  
الذراع الكبير من الرافعة الواقعة تأثيرها على الزمام المذكور فينتظر الحمل الهابط  
حتى يتي بينه وبين الارض او العربة التي يلزم وضعه عليها اقل من متر فعند ذلك  
يسكن على الرافعة دفعة واحدة فيقف الحمل حينئذ وقفا وقبيا

\*(الدرس الرابع عشر)\*

\*(في بيان الضغط والشد والمرونة على العموم)\*

قد اخترنا فيما سبق تأثير القوى في الاجسام من حيث انكماشها ومدتها مع فرض ثبوت ابعادها وهو فرض عن الحقيقة بمعزل فان اغلب الاجسام التي يقع عليها تأثير القوى لاجل انكماشها تقص بعدد في الجهة التي يحصل فيها الانكماش

والمقصود هنا بيان ما بين الاجسام المتنوعة من الميائات الكمية فتقول هنالك بعض اجسام يظهر أنها تتأثر بأدنى ضغط بدون مقاومة وتبقى بعد الانضغاط على الابعاد التي تحدث لها من الضغط وهذه هي الاجسام الرخوة وهنالك اجسام اخرى تتأثر ايضا بالضغط مع السهولة الا أنها بمجرد انقطاع تأثير القوة الضاغطة تأخذ الابعاد التي تناقصت بتأثير هذه القوة في الزيادة حتى تقرب من الابعاد الاصلية كثيرا او قليلا وهذه الاجسام التي ثبتت لها هذه الخاصية هي الاجسام المرنة

ولا تكون الاجسام تامة المرونة الا اذا عادت الى ابعادها الاصلية بالسرعة التي انعدمت منها حين الضغط ولكن ليس هنالك من الاجسام التي على اصل الطبيعة ما هو بهذه المثابة

واذا ضغط الجسم اولى مرة خلى ونفسه بأن يبطل تأثير القوة الضاغطة ليعود الى ابعاده الاصلية بقدر الامكان فان عادت هذه القوة الى التأثير ضغط الجسم ثانياً انضغطا اشد في العادة من ضغط المرة الاولى واذا بطل تأثير القوة الضاغطة عاد في العادة الى ابعاده الاصلية لكن لا كاملة الاولى بل دون ذلك فعلى هنا تتناقص مرونة الاجسام شيئا فشيئا بتكرر تأثير القوى الضاغطة ومع ذلك فكثير من الاجسام لا يتعدم من مرونته في كل مرة الاجزاء غير محسوس ومثل هذه الاجسام يقبل الاستعمال زمانا طويلا مع ما يقع عليه من كثرة تأثير القوى الضاغطة الذي يوجد تارة ويتعدم اخرى

ويكثر في الصناعة استعمال الاجسام المرنة القابلة للانضغاط لاجل توزيع الضغوط المشتركة توزيعا بالسوية بواسطة القوة التي لا تؤثر الاعلى اتجاها مستقيما واحدا فاذا كان المطلوب مثلاً أن تنقل على فرخ من الورق اوعلى قطعة

من القماش نقشا موجودا على لوح معدني فالتانضع على القرخ او القماش  
جسما مرنا قابلا للانضغاط ونضع قرخا آخر على اللوح المعدني ثم نضع فوق  
الجميع جسما صلبا مستويا يقع عليه تأثير القوة في نقطة واحدة او اكثر وينقل  
هذه القوة على الجسم الصلب المذكور تضغط الاجراء البارزة من الجسم المرين  
على التوالى وبمجرد ضغطها الاجراء البارزة تتلاقى مع ما بقى من الاجزاء وتضغط  
معظمها بحيث يقع على جميع قط السطح الذى تلاقى مع اللوح المعدني من جهة  
ومع قرخ الورق او قطعة القماش من جهة اخرى جزء من القوة الضاغطة يكتفى  
في دخول القماش او الورق اللذين هما جسمان قابلا للانضغاط في تجويفات  
اللوح فيحدث من ذلك ثقل النقش وطبعه

ويستعمل في كثير من الفنون ما هو من قبيل تلك الاجسام المرنة او الرخوة التى  
تستعمل في توزيع الضغوط توزيعا منتظما والا وقعت كلها على نقطة واحدة  
فتقت الجسم المطلوب ضغطه او تغير صورته

فاذا كان المطلوب نقل اجسام معدنية او خرطها وكان سطح تلك الاجسام يلزم  
الاعتناء به بالكلية فالتانضع بين هذا السطح وفكى الكاشة جسما رخوا  
كالخشب والرصاص والحامى وما شابه ذلك فيتوزع به الضغط على عدة  
من نقط سطح الجسم المطلوب صناعته وبهذه الكيفية لا يلحقه اذى تلف  
وفي حرم البضائع ونحوها مما يخشى على سطحه التلف يلزم تحويطها باجسام  
مرنة ولا ضرر بعد ذلك في ضم هذه البضائع الى بعضها بالحبال لان ضغط تلك  
الحبال حينئذ يكون موزعا على الاجسام القابلة للانضغاط المحيطة بها فيكون  
ما يصل من الضغط الى النقاط المختلفة من الاجسام المحزومة على غاية من الخفة  
وسيا فى المدرس المقود لاصطدام الاجسام اختيار مثل هذه التأثيرات  
فى الاجسام المرنة المعدة لتحويل التمزكات السريعة او لطيفتها

واذا فرض ان قوتين يؤثران فى جهتين متضادتين لاجل ابعاد اجزاء جسم  
عن بعضها فانهما يمتدان ويزيدان كثيرا او قليلا بعد هذا الجسم فى جهة  
المستقيم الذى يصل بين نقطتي وقوع القوتين المتجهتين الى جهتين متقابلتين

وهناك اجسام يقع عليها تأثير القوى التي يحصل بها الامتداد بدون احتياج الى عظيم جهد فاذا امتدت اول مرة لا تعود الى ابعادها الاصلية وهي الاجسام الرخوة وثم اجسام اخرى تعود الى ابعادها شيئاً فشيئاً حتى تصل الى حالتها الاصلية عند انقطاع تأثير القوى التي يحصل بها الامتداد وهي الاجسام المرنة وهناك اجسام اخرى ايضا ثبت لها هذه الخاصية وهي عودها الى ابعادها الاصلية سواء كانت منكسمة او محدودة وبالجملة فالاجسام منها ما يعود الى ابعادها الاصلية عوداً تاماً ما اذا تكمشت ولم يمتد ومنها ما يعود اليها اذا امتدت ولم ينكمش

ومن المهم جداً في سائر فروع الصناعة بالنسبة الى المواد الاولية التي لم تدخلها الصناعة والمواد التي دخلتها الصناعة وكذلك مادة خواص المرونة أن يتقرب دائماً لكل صنعة ما يلائمها من المواد ولا مانع من نظم ذلك في سلك التجارب المضبوطة التي لم تعمل الى هنا الا في عدد قليل من الاجسام والاحوال التي لا يعتنى بشأنها كثيراً

وليس في الاوتار المتخذة من التيل والحرير والقطن ونحو ذلك ولا في السلاوك المعدنية قابلية لمقاومة الضغط وذلك ناشئ عن صغر قطرهما بالنسبة لطولهما وانما فيها قابلية لمقاومة الشد كل منها على حسب درجته في القوة والمرونة وما فيها من المرونة يجعلها مستحسنة في اشغال الصناعة

مثلاً اذا كان المطلوب تحويل تحرك دوران من قرص الى آخر او من طنبور الى اخر فالتأثيرات من فوق حلق القرصين او على محيط الطنبورين حبالا وسيرا يكون له في الشد درجعة معلومة ونوزع الشد توزيعاً منتظماً على جميع قسط ذلك الحبل او السير فيقع تأثير الشد على كل من هذه النقط حتى يعود الحبل او السير الى بعده الاصلى ولا يتأثر في ذلك الا اذا ضغط محيط القرص او الطنبور بالحبل او السير فاذا تحرك بعد ذلك احد القرصين او الطنبورين جذبت مقاومة الاحتكاك الحبل او السير على محيط القرص الاول او الطنبور الاول ويحدث من الضغط الواقع من الحبل او السير على القرص الثاني او الطنبور الثاني



احتكاك يحول التحرك الى هذا القرص الثاني او الطنبور الثاني وبالاستعمال  
تتناقص المرونة المضادة للشدود تناقصا تدريجيا فلذا كانت الحبال والسيور  
المستعملة وان كانت مقاومة دائما بواسطة مرونتها لا تقاوم الاشياء فشيئا ولا تمتد  
الا بالتدريج ومثل ذلك يحمل الانسان على البحث عن الطرق التي يسلكها  
يجتنب هذا المثلد (راجع الدرس الثالث من الجزء الاول)

فاذا كانت الاوتار معدودة ومشدودة بالكلية وضرب على ما كان متعظرا فمن  
قطعاتهم خلعت ونفسها فانها تتحرك كمنتردا كثيرا او قليلا يعرف بتحريك  
الاهتزاز فتشير عند ذلك التحرك ما يكتنفها من الهواء فيحدث الصوت واذا  
ازداد بالتدريج شد الوتر علت بالضرورة الاصوات الحادثة منه عند اهتزازه  
واختلف بالتدريج من الرخو الى الحاد ويكون في هذه الاصوات المتكونة بهذه  
الثابة ما يربط الاسماع ويصلح لان يعمد من ألحان الموسيقى وقد تعينت بالتجربة  
النسب الحاصلة بين شدود الوتر اعني الاتعال المستعملة في تحصيل الشد الذي  
تحدث عنه ألحان الموسيقى فلي ذلك يكون تعيين الألحان في الموسيقى نتيجة  
تجربة ميكانيكية

فاذا كان المستعمل وتر واحد وفرضنا له طولا فان الاصوات في هذه الحالة  
تكون رخوة بقدر كبر قطر الوتر وقد تعينت النسب الحاصلة بين ارتفاع  
الاصوات وقطر الاوتار المختلفة وصارت معلومة والالات ذات الاوتار  
عبارة عن عدة اوتار معدنية او متخذة من جلود الحيوانات متحدة بالابعاد  
والاطوال بحيث ينشأ عنها بين حدود معلومة تقاسيم ألحان الموسيقى وهي  
الاهوية والمقامات وقد اقتصرنا في تعيين استعمالها على ما سنذكره فنقول  
اذا نقص طول الوتر الباقى على شدة الثابت فان الاصوات التي تحدث عنه  
تكون حادة مر تفعلة بخلاف صورة العكس وهي ما اذا زاد طولها فانها تكون  
رخوة

ودوامات الالات ذات الاوتار هي عبارة عن روافع الغرض منها ضغط قطعة  
ثابتة في بعض الاجزاء المتوسطة من الاوتار لاجل تقبض طولها فلي هذا

يحدث بالتوالي في وتر واحد اصوات مرتفعة قليلا او كثيرا وبذلك تزداد  
الاكالات حسنا وجودة

ولما انهيئنا الكلام على مرونة الخيوط منفردة ناسب أن نشرع في الكلام  
على مرونتها مجتمعة فنقول ان الخيوط المستعملة في صناعة الاقشة تكون  
مرتنة كثيرا او قليلا وهذه المرونة تسهل صنعها فعلى ذلك اذا لم تكن خيوط  
التسيج ممدودة بالسوية في رقت واحد ولم يمكن تغيير بعدها بدون انقطاع فان  
عدم تساويها الثاني عن الابعاد او عن الحركات التي تقتضيها صناعة نسيج  
الاقشة يرجب اتقانها ولو كان عدم تساويها المذكور خفيفا وهناك  
خيوط على العكس من الخيوط المذكورة حيث انها عند وقوع تأثير القوى  
عليها تمتد دفعة واحدة وتعود الى ابعادها الاصلية ولا يعرض لها انقطاع الا اذا  
طُرأت عليها عوارض على خلاف العادة

ثم ان الاقشة المعتدة للباس اذا لم تكن منسوجة من خيوط مرتنة لا يتكون منها  
الاسطوح منفردة بقرضها غير قابلة للمد او سطوح لا تعود الى صورتها الاولى  
اصلا بقرضها رخوة بالكلية ولكن يمكن بواسطة المرونة أن يكون لبعض اجزاء  
تلك الاقشة انحناء أن يكونان تارة في جهة واحدة وتارة في جهتين متقابلتين  
وربما كانا تابعين للين اعصاب الجسم البشري في سائر التحركات المختلفة  
الهادثة من الاعضاء ولما كان كل من حجم هذه الاعضاء وانحنائها يتغير سريرا  
لا سيما في المفاصل لم أن تكون الاقشة غير متعاضية على هذه التحركات وأن  
تعود فيما بعد الى صورتها الاصلية وذلك انما يحصل بواسطة مرونتها

وهناك بعض ملابس تحتاج في استنادها وضعها الى بعضها الى قوة معلومة  
لا تتجاوز حدها فاذا كان المستعمل لاجل حصول مثل هذه الانضغاطات نسيجا  
غير قابل للمد تألم منه اللابس عند تحرك جسمه الذي تكاد تزيد ابعاده هذا  
اللباس المحيط به فلهذا كانت احزمة النساء الافريقية والقفازات والجوارب  
وسائر اجزاء الملابس المباشرة لجلد الانسان مصنوعة من مواد مرتنة ويمكن  
أن يدرك بالتألم الحاصل للارجل من النعال التي ليست مرونتها كافية ما ينشأ

عن هذه الخاصية من المنفعة للنوع الانساني  
وعوضا عن أن نستعمل خيوطا مستقيمة متوازية في تكوين السطوح المرنة  
التي ليس لها الاخاصية قبول كل خيط منها ليدتضع نسيجا تكون فيه الخيوط  
على اتجاه منعطف ويكون لها طول اعظم من البعد المستقيم الذي بين اطرافها  
فان النسيج الذي بهذه المثابة يقبل المداكثر من النسيج الاعتيادي مع أن القوة  
فيه ما واحدة فاذا انقطع تأثير هذه القوة انضم النسيج الى بعضه بحيث تقطع  
قطعا المتطرفة مسافة عظيمة وعلى هذا المنوال يصنع النسيج المجدول الذي يصير  
بواسطة الامتداد والانضغاط صالحا لصلاحية تامة لستر الاعضاء الانسانية التي  
تتغير صورها وابعادها عند التحرك وهناك تأثير يضاهي تأثير الجدل وهو  
الحادث من لف السالوك المعدنية لحاظرونيا لان هذه الحلزونات ينشأ عنها اقراص  
عظيمة جدا بين اطرافها بخلاف البعد المستقيم لهذه الاطراف فانه لا يتقرد فيلزم  
اذن أن القوة الواحدة سواء كانت معتدة للضغط او المدا يحدث عنها مدا وقبض  
اكبر مما لو كانت مؤثرة في خيط محدود ومن هنا استعمال السلوك المعدنية  
المتننية انما لحزونيا والاشنطة الافرنجية المرنة ويايات العربات وما اشبه ذلك  
في كثير من الآلات

ولما كانت الجبال عبارة عن خيوط متننية انما لحزونيا كان لها بذلك درجة  
في المرونة تبين درجة مرونة الخيوط الممدودة مدا مستقيما وهذه المرونة  
تتضمن في الآلات لاسميا في ادوات السفن وموادها  
وفي كائنات القرى والارياف اسطوانات طويلة من صفيح مدهون بلون  
البياض على صورة شعوع كبيرة فتوضع فيها شعوع اعتيادية ويوضع تحت تلك  
الشعوع حلزون طويل من سلك من الحديد او النحاس الاصفر فينضغط هذا  
الحلزون انضغاطا كبيرا اذا كانت الشععة بجبالها لم يتقص منها شيء فاذا حرق منها  
جزء مدفعها الحلزون ورفعه الى اعلى بحيث تكون قبيلتها دائما في نقطة واحدة  
على القاعدة العليا من الاسطوانة الطويلة التي هي على صورة الشععة  
الكبيرة

وما استلزمه من الكلام الى هنا انما هو في البحث عن تعيين المقاومة التي تكون  
للأخشاب قبل كسرها بالتأثير الواقع على أليافها عموديا او بضغط الاتصال  
المؤثرة في جهة هذه الألياف

ولاشك أنه يلزم الآن معرفة النهاية الكبرى لقوة الأخشاب حتى يتأتى أن  
نستعمل على الدوام في العمارات والآلات المركبة منها مواد تكون قوتها اعظم  
من الجهود التي تقاومها لكن يلزم دائما أن نجتنب في الاستعمال النهاية  
المذكورة ما أمكن وكذلك في صورة عمل الأشغال التي يراد طول مكها بل  
يلزم اجتنابها أكثر من السابقة لان قوة الأخشاب تتناقص دائما بتداول الزمن  
عليها لاسباب وهنالك عوارض كثيرة تطرأ على الأخشاب فتتلفها وتغير اوصافها  
الاصلية

وثم امر آخر ليس دون المتقدم في النفع بل ربما كان تنفعه اعظم وان كان على  
ما يظهر دون الاول في العمل به وهو البحث عن تعيين ما للأخشاب من  
المقاومات المتشابهة في صورة ما اذا وقع عليها تأثير قوى من شأنها انها تغير  
صورتها قليلا وتؤثر في مقاومتها المنبهة

وفي بناء العمارات وعمل الآلات والسفن يلاذ القريح يفرض أن القطع الخشبية  
القليلة الحمل تبقى على الصورة التي رسمت عليها راسما مضبوطة وهذا فاسد لان  
القوى الصغيرة لها بعض تأثيرات طبيعية وان كانت لا تدر كها حواسنا  
لصغر حاجتها ولكنهم مع ذلك تنضم الى بعضها فيحدث عنها نتائج ظاهرة جسيمة  
ولنذكر لك شاهدا على ذلك فتقول

لاشك أن اعظم عمارة يمكن عملها من الأخشاب هي السفينة والالمتعلم في سلك  
الدونجما الترفيحية فاذا اريد انشاء سفينة من الدرجة الاولى في ترسانة فلان  
أن تكون في الارتفاع اعلى من المنازل الترفيحية العالية ولا بد ايضا أن تكون  
مما يحمل القف يرفع ما يلزم لهم من المؤونة مدة ستة شهور ومن المدافع بقدر  
ما يلزم للحصن الخوف ويلزم ايضا أن تكون في الصلابة ملائمة لما يجده من الاشياء  
المذكورة وقد اطلقنا هنا اسم الحائطين على جانبها التخزين من الخشب لان

سمكهما ان لم يزد على سمك الحيطان الخارجة من المنازل القرشجية العادية فلا اقل من المساواة لها ولا بد أن تكون روابطها ومساندها على اختلاف انواعها بحكمة الصناعة وكذلك ما فيها من النحاس والحديد المعتين لحفظ جميع اجزائها وامساكها فهل بعد هذه الوسائل المتينة والوضع المحكم يسع من اطلع عليها أن يشك في بقاء صورة تلك السفينة على حالتها الاصلية بدون تغيير ثم هو في الواقع محال لانها بعد انقضاء عملها ونزولها في البحر نشأ عن عدم تساوى التأثير الواقع من الاثقال التي باطرافها وعن دفع المياه المصادمة لها أن الاجراء تنحى في جميع طول السفينة ويصير مقعرها على شكل قوس بحيث لو فرضنا وزنا طولها ٦٠ مترا كان سهمه في بعض الاحيان نصف متر فاكثر

ولاريب أن مثل هذا التغيير يعد جسما اذ به لم يبق السفينة على حالتها الاصلية بل تغيرت تغيرا قويا في سائر صفاتها هذا وان اردت الوقوف على معرفة السهم الذي يبلغ وتر قوسه مترين عند عروض الاختاء المذكور وجدته اقل من عشرين ملية تراو هو مقدار قليل جدا بالنسبة لطول اقل احواله أنه يساوى اعظم قامة من قامات النوع الانساني

وقد كنت اول من تصدى لتقدير هذا التغيير الغير البين الواقع في الاخشاب فحذرت أولا مقاومة هذه الاخشاب في جميع تغيراتها عند ظهور تأثير تلك المقاومة اعنى حين تتغير صورة الجسم قليلا بما يحمله من الاثقال ولا شك أنك ترى مع القائدة أن مظهر التجارب الحاصلة في شأن كسر الاخشاب من القوانين وانواع الاختلال اعنى في صورة ما اذا تغيرت صورتها عن اصلها تغيرا عظيما ما يمكن ليس الا نتيجة لازمة للتغيرات الصغيرة جدا التي تبدو للناظر عند انحناء تلك الاخشاب قليلا

ولئذ كررنا هنا على سبيل الاجال ما ألقناه من المباحث في شأن لين الاخشاب وقوتها ومرتباتها واسطة التجارب التي حصلت في ترسانة قورسيير سنة ١٨١٦ ميلادية وفي ترسانة فولون سنة ١٨١٣ ثم في ترسانة دونكرل في سنتي ١٨١٦ و ١٨١٧ فنقول ان ما ألقناه في تجارب ترسانة قورسيير مذكور في الجزء

العائبر من كتابنا المعروف بجزئال المهندسة مخانة واما الآلة التي استعملناها في تجارب ترسانة فكلون صورتها مرسومة في (شكل ٩) وصورة الآلة التي استعملناها في تجارب ترسانة قورسير مرسومة في (شكل ٢)

قوى في (شكل ٢) تازجة كبيرة مثبتا عليها مسندان اثقيان في استواء واحد مسافة ما بينهما يبلغ مترين وما فيه من صور قطع اخشاب البلوط والسرو او الزان والراتنج والصنوبر مرسومة على شكل متوازيات السطوح وهذه المتوازيات السطوح تزيد في الطول على مترين وهي موضوعة بالتدريج

على مسندى **ض و ض** المذكورين وبها يقاس اقصر بعد بينهما وهي بارزة قليلا من الجهتين بحيث اذا اخذت كل قطعة منها في الانحناء لا تقصر حتى تسقط بين المسندين المذكورين

وقد وضعت على هذه المتوازيات السطوح التي سميتها بالمشورات قصدا للاختصار اثنالا بين المسندين على بعد واحد فالحق كل من هذه المشورات نوع انحناء

ومن البديهي أن كل ضلع من اضلاع المشور مثل ضلع **أ ب ث** او

**د ه ف** ينثنى على بعضه (شكل ٢) بحسب النحنى المرسوم في مستو

رأسى والمائل بالنسبة لمستوى **ه ب** الرأسى الممتد من نقطة المنتصف التي يكون الحمل واقفا عليها امتدادا عموديا على مستوى الانحناء

وهذا النحنى هو الذى كان يلزم تعيين اجزائه مع اعتبار الواجهة المحدبة من المشور المنثنى وملاحظتها دائما

وقد لاحظت في جميع ما علمته من التجارب انه متى لم تكن الاشكال كبيرة بالكلية كانت **غ ب** التي هي سهام قسى **أ ب ث** الحادثة عن القاعدة

المنثنية مناسبة لهذه الاشكال

ولكن اذا كانت السهام صغيرة جدًا بالنسبة لوتر ثابت من عدة قسى فان انحناء

تلك القسي يكون مناسب السهام المقابلة لها مناسبة مضبوطة وقد استنبطنا من ذلك القضية الآتية التي توصلنا إليها فيما سبق بالعلوم النظرية وهي أن انحناء الاخشاب الناشئ عن افعال صغيرة جداً يكون مناسباً لهذه الأفعال وذلك يكون بقياس هذا الانحناء بخط  $\overline{ع ب}$  الذي هو سهم قوس  $\overline{أ ب}$  أعني باختصاص النقطة المتوسطة من القاعدة

فإذا كانت قطعة واحدة من الخشب تحمل بين مسنديين أفعالاً مختلفة صغيرة فإن هذه الأفعال تكون مناسبة لنصف قطر انحناء القاعدة في النقطة المتوسطة من تلك القاعدة ويكون هذا الانحناء مناسباً أيضاً لهذه الأفعال الصغيرة جداً

وبعد تعيين نسبة قوة الانحناء المنبهة والنقل الحادث منه هذا الانحناء ينبغي النظر هل مثل هذا القانون يبقى على حاله في صورة ما إذا حمل الجسم أفعالاً كبيرة جداً أو لا وعليه فما يكون مقدار التغير الذي يعرض لهذا القانون وقد ذكرنا أنواع الخشب الأربعة التي نغلب استعمالها في الفنون مع بيان اسمائها وربما استعمل من البلوط والراتنج ما قطع منذ خمس وعشرين سنة تقريباً كاخشاب السفينة الروسية المسماة  $\overline{م ج ا ب}$  فإنها تحزبت منذ ثمانية من الميلاذ بعد أن استعملت عشرين سنة

ومع ذلك لم يبق هذه الاخشاب على قوتها الأصلية لكن حيث كان المطلوب تعين القوانين التي تضبط بها قوة الاخشاب وعروتها بواسطة نسب عامة لاعلاقتها بالسنة الحقيقية للألياف التي على صورة الخطوط ولا بأنواع الانحنا وأجاسها فإن هذه الاخشاب تبقى بالمقصود من الاستعمال أكثر من الاخشاب المقطوعة حديثاً وبالجملة فالسرو والزان مضي عليهما بعد القطع سنة واحدة يظهر من عروتهما أن خواصهما دون خواص الاخشاب التي مضي عليهما بعد القطع خمس وعشرون سنة وهذا يتضح ما ذكرناه وينتظم في سلك البديهيات

هذا وقد صنع أربعة مناشير أو متوازيات سطوح طول كل منها متران وبعض

شيء ومقدار ~~سج~~ كلاهما ثلاثة سنترات ووضع كل منشور منها بالتوالي على مسندين ثم وضع على منتصفه حمل قدره ٤ كيلوغرامات ثم زيد على هذا الحمل حتى بلغ ٨ ثم ١٢ ثم ١٦ وهكذا الى ٢٨ كيلوغراما وقد اثبتنا في رسالتنا الجداول التي يعلم منها اولاهم القوس الذي تأخذه القواعد وثانيا الفروق الاولى التي تطهرين هذه السهام

وبالاطلاع على هذه الجداول يعلم اولاً أن ٨ كيلوغرامات يتقوس بها المنشور بقدر تقويسه باربعة كيلوغرامات مرتين فقط ومثل هذا التناسب يحصل بالانضغاطات الصغيرة

وبالاطلاع ايضا على الجداول المتعلقة بسائر اخشاب البلوط والسرو والزان والارابنج يعلم أن الفروق الاولى الحاصلة بين السهام تكون آخذة في الازدياد دائما

وهذه الفروق وان كانت لا تختلف في الواقع عن خلل هين الا انه اذا وجد فيها فرق صغير جدا اعقبه بدون واسطة في البهمة المقابلة خلل يفوق الاول وحيث ان هذا الخلل لا يزيد عن واحد من عشرة من المليمتر فاذا استعملنا اخشابا بحكمة الصناعة وعولنا في ذلك على الطرق الاخرى التي لم تذكرها ترتب على ذلك نتائج تكون فيها الفروق الثانوية ثابتة او متغيرة قليلا (والمراد بالفروق الثانوية الفروق البسيطة او الفروق الاولى الحاصلة بين جلة اعداد)

وعلى ذلك فيمكن أن نعتبر الفروق الثانوية الحاصلة بين الابعاد كأنها ثابتة اذا كانت الاشغال المحولة على قطعة واحدة تزداد بفروق اولية ثابتة وهذا القانون السهل مطابق بالكلية للتجربة بحيث اذا صنع من البلوط مثلاً قطعة منتظمة على طبق الحدود المعلومة من التجربة فان ما يحصل من النتائج لا يتفاوت الا بقدر ٤ من عشرة من المليمتر ويكون الانحناء الكلي المتصل مساويا ٤٠٦ من هذه الاعشار وبذلك يسهل بيان هذا الخلل الهين وهو التفاوت المذكور وعند انحناء المنشور يكون على شكل قوس اطول من وزره فهو عند انحنائه لا بد أن يترك خلق كثيراً او قليلا على المسندين وهذان المسندان عبارة عن ضلعين



من الخشب على طولهما تتزحلق الالياف الخارجة من المنشور ترحلها غير متواصل بل يكون باندفاع تلك الالياف ووثوبها ووثوبها ظاهرا كثيرا كان او قليلا ولا تمس اتساكاً حقيقين يلبده ليس بها شيء مما يخص القنون حتى الموازين المضبوطة ضبطاً كافياً بحيث يتوصل بها في تحرير الشيء وضبطه الى ما فوق واحد من عشرة من ألف وسبعمائة في كل فرق من الفروق الصغيرة النظرية والحسابية لا يتجاوز الحد المعين لتحرير العمليات وضبطها

ولما اردنا أن نعرف نتيجة معادلات حل كبير جداً يبلغ قدره ٨٠ كيلو غراماً تأملنا النتائج المتحصلة معنا بالنتائج المتحصلة من حل يبلغ قدره ٤ كيلو غرامات فقط فوجدنا بما يناسب ذلك أن السرو يكون سهم قوسه صغيراً اذا كان الحمل كبيراً ومثله البلوط والراينج والزان

ومن هنا النتيجة الشهيرة وهي ان هذا الخشب يعني اكثر من غيره من انواع الخشب التي تكون مقاومتها المثبتة عند الانحناء صغيرة وان كانت المقاومة للمثبة لاى نوع من انواع الخشب قوية جداً في صورة ما اذا كان الحمل كبيراً بالكفاية كما أن الفروق الثانوية فيها تكون ايضا كبيرة في هذه الصورة

ومن المعلوم أن الزان في غاية من المرونة فلذا كان الخراط يصنع منه قوس مخروطه لانهاية تكون منتظمة وكان اعظم المجاذيف والمدارى عند البصارة هو ما يتخذ من خشب الزان لانه يحمل ما يعرض له من المجهودات العظيمة والمصادمات السريعة ومنشأ كون الفروق الثانوية عظيمة في الزان هو أن ما يعرض له من الانحناء عند وضع الاثقال عليه لا يمنع من قبول تأثير المصادمات السريعة ولينه معها ولا يكون به عرضة للكسر

وبعكسه خشب السرو فانه قلة لينه وكونه عرضة للكسر كانت فروقه الثانوية غير محسوسة تقريباً فهي على الثلث من فروق الزان

وقد عينا التناقل النوعية التي تكون لانواع الاخشاب الاربعة المذكورة في التجارب المتقدمه فكانت في الترتيب كالمقاومات التي تعرض عند الانحناء وينتج من ذلك قاعدة مهمة في شأن الاخشاب اصلها انه اذا كان هناك

سفينتان متحدتان في حجم الخشب لافي نوعه فالمصنوعة من الخشب الثقيل  
يكون تقوسها او انحناؤها دون تقوس السفينة المصنوعة من الخشب الخفيف  
لان تقوس السفن يكون على حسب لين اخشابها

فأذن يلزم أن يكون تقوس سفن بحر بلطق والفلك أكثر من تقوس سفن  
البحر المتوسط كما دلت على ذلك التجربة

فعلى ما ذكرناه اذا كان هنالك سفينتان متحدتا الاخشاب ثقلا وقدر الانوعا  
فما كان منهما مصنوعا من الاخشاب الخفيفة يكون تقوسها دون تقوس الاخرى  
في الانحناء فتكون اشد صلابة منها

والظاهر أن الشبر دون جرجى جوان وقف على الحقيقة في هذا المعنى  
حيث اراد أن يصنع سفنا من الاخشاب الحقيقية كالأخشاب الصغية لامن  
أخشاب البلوط

وبالجملة فالجاريب المتقدمة المتعلقة بمواد المقاومة المنبهة يؤخذ منها طرق  
حساب النتائج المتشابهة وقصصيلها بدون احتياج الى على التجاريب ذات  
المصاريف التي تحصل في شأن تكسير قطع الاخشاب وهذه الطريقة تعرف  
اوصاف الاخشاب التي تلائم الاشغال المتنوعة في الفنون على العموم لاسيما في  
العمارات البحرية اجودا المعرفة وربما كان تعيين ابعاد قطع الاخشاب من كل  
سفينة لاعلى حسب رأى المعمار واختياره بل على حسب ما يرضيه مزاج  
المصلحة ويتوصل بهذه العملية الواضحة الى نتائج اعم نفعا واكثر فائدة

وبعد أن ذكرنا الجاريب الكثيرة التي حصلت في شأن قطع الخشب المتعدة  
الصورة تكلمنا على القطع المختلفة السمك والعرض فتوصلنا الى هذه النتيجة  
الثابتة وهي

ان المقاومة الحاصلة عند الانحناء تكون مناسبة لمكعب السمك وقد بينا  
بالقواعد العلمية حقيقة هذه التجربة

فاذا اتفق متوازي سطوح من الاخشاب فان أليافه الداخلة تنقبض وأليافه  
الخارجية تنبسط ويبقى بينهما ليف متوسط لا يتغير طوله بل يبقى على حاله

مهما كان انحناء متوازي السطوح

ولاجل اثبات تأثير مدّ الالياف واتقياضا اختراع المهندس دو هاميل  
تجربة بدبعة وهي انه نشر من المنتصف نشرًا عموديا على اتجاه الالياف ثلاثة  
ارباع سمك قطعة الخشب ثم ادخل في حز المنشار ثابورا رفيعا جدا من خشب  
اشد صلابة من خشب البلوط فاذا اسندت قطعة الخشب من طرفها وكانت  
الواجهة التي بها حز المنشار في الجهة العليا وضعت عليها الاثقال ولكن مع  
كونه نشر ثلاثة ارباعها فالربع الباقي من الالياف يمكنه المقاومة بسبب ما فيه  
من اللين وقبول الانثناء بحيث تكون القطعة المدكورة باقية على قوتها الاصلية  
فان كان حز المنشار غير متوغل وغائر كثيرا كانت القوة كبيرة والا فصيغرة  
وهي تعين بالتجربة الوضع المضبوط لليف الثابت الذي لا يتغير سهل بذلك  
استنتاج نسبة القوى اللازمة لهصيل المد والقبط المقروضين في ألياف  
قطعة واحدة من الخشب واغلب ما وقع في طولون ودون كرك من  
التجارب انما كان الغرض منه البحث عن هذا النوع وعما قليل نشر ذلك  
ونشره

وبعد ان حصلت التجربة في تحميل قطع الاخشاب يا اثال مجمعة حصلت ايضا  
في تحميلها اثقالا موزعة على طولها توزيعا منتظما فوجد ان الاثقال سواء  
كانت مجمعة في منتصف قطعة الخشب او متوزعة على طولها توزعا منتظما  
تكون فيها نسبة الاسهم الى الانخفاضات الى بعضها كنسبة تسعة عشر الى  
ثلاثين او خمسة الى ثمانية وهذه النسبة تكون واحدة في الاخشاب المتنوعة  
الصف والمختلفة الابعاد

فان اذا جعلنا ثقل قطعة منشورية من خشب وحدة فبتضعيف خمسة اثمان  
السهم الذي يكون لها عند اسنادها من طرفها اسنادا اقويا يحصل السهم  
الذي يكون لها عند تحميلها ثملا مساويا لثقلها ~~لكن~~ بشرط اجتماعه  
في منتصفها ونؤخذ من هذه القاعدة طريقة سهلة في وزن الاخشاب الثقيلة  
الطويلة بدون موازين بشرط أن يكون معكها ثابلا لا يتغير

وبموجب ما ذكرناه لاشئ اسهل من اعتبار ثقل واحد موضوع في منتصف قطعة من خشب كمثل موزع على طولها توزيعا منتظما وعكسه وفوائد ذلك كثيرة في الفنون

وقد عينا الفناء قطع الخشب مع مراعاة ابعاد المساند فكانت النتيجة أن كل قطعتين من الخشب متساويتين كقوسين سهميهما مناسبان لمكعبات ابعاد المساند ولا يمتحن أن كل سهم بين المساند يكون كمكعب السلك المقابل له وبانصمام هاتين القاعدة تين الى هذه القاعدة وهي أن الانحناءات الصغيرة تكون فيها الاسهم مناسبة بالضبط للاحوال تتوصل الى هذه النتيجة الغريبة

وهي أن نفرض قطعتين من الخشب متساويتين بمعنى أن بعديهما المتساظرين مناسبان ونفرض انهما من جنس واحد فاذا اسندناهما من طرفيهما فان سهمي التقوس الذي يحصل لهما بسبب ثقلهما الاصل يكونان مناسبين بالضبط لمربعي طولي هاتين القطعتين وبناء على ذلك مهما كان المقدار الحقيقي للقطعتين المذكورتين فانه يكون لهما في المنتصف نصف قطر واحد من الانحناء ولا يختلف هذه النتيجة في صورة ما اذا وضع على القطعتين اثقال مجتمعة او متوزعة الا أن هذه الاثقال تكون مناسبة لنفس ثقل هاتين القطعتين

ومثل هذه النتيجة مستعملة غالبا في عمليات اشغال الفنون لان العمارات والاكولات على اختلاف انواعها مناسبة الاجراء عادة فاذا كان المطلوب المقابلة بين سفيتين متحدتي المادة وكانت ابعاد موادهما مناسبة لابعاد هاتين السفيتين فانه يستنتج من ذلك حيث لا مانع أن تقوس السفيتين يكون له في صورة انحناءهما الاكبر نصف قطر انحناء ثابت مهما بلغ مقدارهما الحقيقي ثم انه يلزم الان معرفة ما به يكبر تقوس السفن الكبيرة عن الصغيرة في نسبة معلومة بقطع النظر عن جميع الاسباب فنقول ان سهم القوس يزاد كربع الابعاد الاصلية للسفينة فعلى ذلك يكون مقتضى ما اسلفناه في شأن السفينة التي طولها استون مترا وتقوسها نصف متر أن سهم قوس السفينة الصغيرة المشابهة لها التي طولها متر واحد عوضا عن أن يكون جراً من ستين يكون ثلاثة

آلاف وسدس جزء من مائة من نصف متروهي نسبة بسيطة تتعلق بالطوال  
ولتشرع الآن في بيان ~~تفسير~~ كسر الاخشاب فتقول ليست الاخشاب قابلة  
الالات قباض ومد معينين بحيث اذا اتجاوزتهما اندقت وبسطت وتكسرت  
وليس للقوى التي يحصل بها كسر الاخشاب علاقة مطردة بالقوى التي يحصل  
بها الانحناء بل تختلف باختلاف انواع النباتات فقد يحدث عن بعض انواع  
النباتات مقاومة قليلة بالنسبة للانحناء وكثيرة بالنسبة للتكسر وذلك كالقنب  
في النباتات الصغيرة كالزنان والدردار والجوز والراتنج ونحو ذلك في الاشجار  
وقد يكون بعض الانواع بعكس ذلك فيحدث منها مقاومة كثيرة بالنسبة للانحناء  
وقليلة بالنسبة للتكسر وذلك كالسرو والكاكي ونحوهما وبذلك تحصل درجة  
ثانية من الاخشاب وهناك انواع اخرى تكون مقاومتها كثيرة بالنسبة الى  
الانحناء والتكسر جميعا كصنوبر جزيرة قرسقة والبلوط الشديد الصلابة  
الذي هو اعظم المعروفات بالولايات القرصية

وهذه الاختلافات الطبيعية لها اهمية عظيمة في الفنون اذ بها يتعين ما تستعمل  
فيه اقسام النباتات المتنوعة عند توفر الشروط اللازمة في ذلك فلا يستعمل  
في العمارات الناعمة التي يلزم أن تكون موادها ثابتة لا تتغير وكذلك اجزاء  
الات المعدة لتعمل بمجهودات عظيمة الاخشاب النباتات الشديدة الصلابة  
ويقدم منها خشب البلوط ثم ما كانت مقاومته للانحناء اكثر كاخشاب الدرجة  
الثانية الا أن الاولى قصر استعمالها على الاشغال الخفيفة التي الغرض الاصل  
منها الزينة حتى لا تقع عليها مجهودات عظيمة

واما اخشاب الدرجة الاولى فينبغي قصرها على الاشغال التي يشترط فيها المرونة  
وذلك كالعربات على اختلاف انواعها وآلات الزراعة وصواري السفن  
ومجاذيف المراكب الخفيفة وما اشبه ذلك

واذا اجريته عمليات التجربة والحساب على القوتين اللتين يكونان لاشخاب  
النباتات العظيمة عند مقاومة الانحناء والتكسر عرفت خواص الاخشاب حق  
المعرفة فاذا ن يمكن في جميع الاحوال أن تختار من الانواع ما يكون اتم ملائمة

للاستعمال ولكن ليس هذا الانتخاب سهل الحصول كما قد يتوهم إذا كان المؤيد له اعانات عملية هيئة ليست على ما ينبغي

ولنجث عن قوة الخشب عند مقاومته للتكسير فنقول إذا اخذنا قطعة من

الخشب كقطعة **أ ب ش د ف** (شكل ١) وثبتناها على **أ ب ش د ف**

(شكل ٢) فإن ليف **أ ب ش** الخارج يمتد وينسط وليف **د ف** الداخل يقبض وينكمش وإذا رسمنا عدة مستقيمات كستقيمات ١١ و ب ٢ و ج ٣

القائمة على واجهة **أ ش د ف** (شكل ١) فهما كان الانحناء الحاصل لقطعة الخشب فإن خطوط ١١ و ب ٢ و ج ٣ الخ تبقى دائما مستقيمة

وقائمة مع محيط **أ ب ش و د ف** (شكل ٢) فاذن ألياف الخشب عند انحنائها على بعضها لا يترحلق بعضها على طول البعض الآخر مثلا بعض ألياف الخشب المحصر في مسافة ١٢٢١ (شكل ١) ينحصر أيضا في مسافة ١٢٢١ (شكل ٢)

والألياف الخارجة التي تمتد والألياف الداخلة التي تقبض يفصل بينهما **م ن** و الذي لا يمتد ولا يقبض فلذا سمى بالليف الثابت

ومدة الألياف خارج ليف **م ن** و الثابت يكون مناسب البعد ها عن هذا الليف وكذلك انقباض الألياف داخله يكون مناسب البعد ها عنه

وقد استنبطنا في التبذة السابقة من هذه القواعد الخواص النظرية المتعلقة بمقاومة الأخشاب عند انحنائها أو تكسيرها

وهناك أخشاب متعددة النوع والقوة متى ثبتت على أي فمن كان تكسرت إذا امتدت أليافها الخارجة امتدادا تكون النسبة الحاصلة بينه وبين هذه الألياف ثابتة

ولنفرض أن قطعة من الخشب منتبئة على محيط ما يزيد سمكها أو ينقص بشرط أن يكون ليفها الخارج متجهها على اتجاه المحيط فحي تكثر سمك القطعة المذكورة مرتين أو ثلاثا أو أربعا الخ فإن مدا ليف الخارج **ش د ف** يكثر أيضا مرتين أو ثلاثا

او اربعا فاذن اذا قص منحنى محيط  $\overline{ا ب ث}$  بنسبة ازدياد سهم قطعة الخشب المتقدمة فان درجة مذالب الخارج تكون واحدة دائما

ومتى ثبتت قطعة خشب كقطعة  $\overline{ا ب ث}$  (شكل ٣) مستندة على مسندى  $\overline{ا و ث}$  وواقع عليها تأثير قوة  $\overline{ف}$  التى هى على بعد واحد من قطعتى  $\overline{ا و ث}$  ظهر ان نصف قطر انحناء  $\overline{ا ب ث}$  فى نقطة  $\overline{ب}$  التى هى منتصف هذا المحيط يكون مناسباً للكعب بعد  $\overline{ا ث}$  عن مسندى  $\overline{ا و ث}$

وفى الانحناءات الصغيرة جداً يكون  $\overline{ر}$  الذى هو نصف قطر انحناء  $\overline{ا ب ث}$  مناسباً  $\frac{\overline{ا ث}}{\overline{غ ب}}$  يجعل  $\overline{غ ب}$  عبارة عن سهم  $\overline{ا ب ث}$  فاذن يحدث

$$\overline{ر} = \frac{\overline{ا ث}}{\overline{غ ب}} \text{ و } \overline{غ ب} = \frac{\overline{ا ث}}{\overline{ر}}$$

وحيث ان قوة  $\overline{ف}$  مناسبة  $\overline{غ ب}$  فان  $\overline{ف}$  تكون مناسبة  $\frac{\overline{ا ث}}{\overline{ر}}$  ولكن حيث ان القوة اللازمة للانحناء تكون على نسبة معتردة من سهم  $\overline{غ ب}$  ومنعكسة من مكعب  $\overline{ا ث}$  الذى هو بعد المسندين فاذا جعلنا  $\overline{د}$  رمزا الى عدد ثابت حدث

$$\overline{ف} = \overline{د} \times \frac{\overline{غ ب}}{\overline{ا ث}} \text{ و } \overline{ف} \times \overline{ا ث} = \overline{د} \times \overline{غ ب}$$

واذا فرضنا قطعة خشب اخرى كقطعة  $\overline{ا ب ث}$  (شكل ٤) سمكها كسمك قطعة  $\overline{ا ب ث}$  (شكل ٣) حدث ايضا

$$\overline{ر} = \frac{\overline{ا ث}}{\overline{غ ب}} \text{ و } \overline{ف} \times \overline{ا ث} = \overline{د} \times \frac{\overline{ا ث}}{\overline{غ ب}}$$





ولنذكر هنا الفرق بين عارضتين موضوعتين بين مسندين متحد في الطول وسلك  
احدهما ١ وعرضها ٩ (شكل ٥) وعرض الاخرى ٣ وسلكها ٣  
(شكل ٦) فنقول

ان مقاومة العارضة الاخيرة تكون مناسبة لعارضها وهو ٣ مضروبا  
في مربعه وهو ٩ فينتد يكون  $٩ \times ٣ = ٢٧$  هو مقدار مقاومة  
هذه العارضة المربعة عند الكسر ويكون مقدار مقاومة العارضة الرقيقة  
الساوية للمتقدمة في الحجم عند الكسر  $٩ \times ٩ \times ١ = ٨١$   
فعلى ذلك تكون العارضة الرقيقة ثلاثة امثال العارضة المربعة في الشدة  
والصلابة

واذا كان هناك قطع خشب او حديد او نحوها متفرقة سواء كان المطلوب  
استعمالها في عمارة او الآلة وكان الغرض منها مقاومة الثنى ثم الكسر في جهة معينة  
لزم أن يكون سلكها كبيرا في تلك الجهة بقدر الامكان مع تقليل عرضها  
في الجهة العمودية

وهكذا كانت تخشيبات فليبيرت دلورم المهندس الشهير وهو اول من صنع  
تلك التخشيبات واستعملها وكيفية ذلك أن تصف الاواح المتقاطعة الاطراف  
بجوار بعضها بواسطة مسامير ذات برجة محققة فيما تضام هذه الاواح الى بعضها  
يكون منها تخشيبات خفيفة الا انها متينة صلبة تحصل القباب والسقوف  
وما اشبه ذلك

فاذا اقتضى الحال مقاومة الثنى والكسر في جهتين عموديتين على بعضهما فلا بد  
من وجود المتانة والوفر معا وذلك باستعمال قطع اخشاب صورة جابها كصورة  
الصليب اليوناني (شكل ٧) او كصورة (شكل ٨) التي بطرفيها  
ثنيات بارزة جدا ويكثر استعمال هذه القواعد في صناعة الالات المتخذة من  
الخشب والمعادن

واذا فرضنا أن المستعمل قطع مستديرة فان مقاومتها عند الكسر حيث انها  
مناسبة للعرض البسيطة ومربعات السمك تكون ايضا مناسبة للقطر

مضروبا في مربعه اعني في مكعب قطر الاسطوانات غير المجوفة المستديرة التي يقع عليها تأثير النقي ثم الكسر

وفي الاسطوانات المجوفة فوائده عظيمة لكونها تقاوم الكسرة قاومة جيدة وذلك لانظامها وحسن صورتها وكذلك في المواد الطبيعية ما هو من قبيل هذه الاسطوانات المستعملة في جميع ما تحتاج اليه تلك المواد من المقاومات العظيمة مع صغر موادها جدا وذلك كريش الطيور فانه على صورة اسطوانات مجوفة بالنظر للجزء الشبيه بذراع رافعة صغير الذي يقاوم الاعصاب القوية المعدة لتحريك الاجنحة واذا قابلت خفة الريش بمئاته وجدت خفته قد بلغت الغاية بحيث يضرب بها المثل

وهذه الخاصية توجد ايضا في الاشياء الاصطناعية كالاعمدة المجوفة المتخذة من حديد الزهر فان لها زيادة على فائدة مقاومتها في سائر الجهات بالسوية فائدة اخرى وهي جمعها بين المتانة والخفة اكثر من الاعمدة غير المجوفة ومن هذا القبيل ايضا مساند اسرّة للعساكر فانها على غاية من الخفة والمتانة وذلك بليقظة القوائم والعوارض من النحاس على صورة اسطوانات مجوفة وهناك كثير من هذا القبيل

\*(الدرس الخامس عشر)\*

\*(في بيان اصطدام الاجسام)\*

قد سبق ذكر المقاومات غير البينة التي تعرض في كل وقت لتحرك الاجسام المتجهة المتحركة على بعضها ولذا ذكر الان نوعا آخر من المقاومة وهو الذي يحصل عند تلاقي جسمين متحركين على حين غفلة كانا مفصولين عن بعضهما بمسافة حينئذ اتفق وهو المعروف بالاصطدام او بالاتطام فنقول ان سائر الاجسام الطبيعية في حال اتفادها اذا وقع عليها تأثير قوة واحدة او عدة قوى فانها تقبل تأثيرها بكيفية واحدة وتكون سرعتها واحدة اذا كانت القوى المتحركة لها متساوية وكان مجسمها واحدا ولكن اذا تلاقي جسمان نشأ عن اصطدامهما حوادث متباينة كل التباين

والاجسام المعروفة بالصلبة هي التي تبقى على صورتها الاصلية عند اصطدامها  
وكل جسم ثبت له هذه الخاصية اعني عدم تغير صورته عند الاصطدام يسمى  
جامدا وصلبا واما الاجسام الرخوة فهي التي تتغير صورتها بالاصطدام او بمجرد  
الضغط

فاذا اريد تفريق اجزاء جسم رخوا بواسطة ضغط او اصطدام او قنا عليه تأثير  
مقاومة كبيرة او صغيرة بخلاف ما اذا اريد تفريق اجزاء جسم مائع فلا يلزم  
ابقاع تأثير مقاومة ما عليه  
وهناك اجسام كالهواء والحقوى والغازات على اختلاف انواعها تحتاج الى ضغط  
دائم حتى لا تدفع اجزاؤها المتنوعة بعضها بعضا ولا تباعد عن بعضها بكمية  
لا تعرف حدودها الى الآن

ولتبدء بالنوع الاول من الاجسام وهي الصلبة فنقول من الاجسام الجامدة  
ما لا يلحقه ادنى تغير في صورته ولو وقينا وهذه هي الاجسام التي يصح أن نسمي  
بالاجسام التامة الصلبة ومنها ما يلحقه بعض تغير وقتي يزول بعد الاصطدام  
وهي المعروفة بالاجسام التامة المرونة ومنها ما يتغير جزء من صورته بالاصطدام  
او الضغط وهي المعروفة بالاجسام الرخوة او غير تامة المرونة

ولاجل زيادة التوضيح نفرض أن جسمين بجسمي  $\overline{A}$  و  $\overline{B}$  (شكل ١)  
يقتركان على مستقيم  $\overline{G\Gamma}$  المار بتقطعي  $\overline{G}$  و  $\overline{\Gamma}$  اللتين هما  
مركزا ثقل هذين الجسمين وأن نقطة تماسهما هي  $\overline{C}$  تكون عند  
الاصطدام على مستقيم  $\overline{G\Gamma}$

فاذا حصل الاصطدام وكانت القوتان الدافعتان للجسمين مؤثرتين على مستقيم  
 $\overline{G\Gamma}$  المذكور فان محصلتهما تكون مساوية لمجموعهما وفاضلهما على  
حسب اتجاههما الى جهة واحدة او الى جهتين متضادتين

واذا كان بجسم الجسمين واحدا وكانا مدفوعين بسرعتين متساويتين  
ومتضادتين كانا متوازنين لانه حيث كانت القوتان المحركتان متساويتين  
في الجهتين كان فاضلهما صفرا

واما اذا اختلف الجسمان في الجسم او السرعة فانه من حيث ان وحدة القوة تدل عليها المسافة التي تقطعها وحدة الجسم بواسطة هذه القوة في مدة وحدة الزمن يكون العدد الكلي الدال على قوة احد الجسمين المحركة هو عدد احدات الجسم مضروبا في عدد احدات المسافة التي يقطعها الجسم مدة وحدة الزمن

مثلا اذا فرضنا أن وحدة القوة هي الوحدة التي تنقل كيلوغراما واحدا الى مسافة متر واحد مدة ثانية واحدة طهر لنا فوراً أن القوة التي تنقل في مثل هذا الزمن عشرة كيلوغرامات الى مسافة متر واحد و كيلوغراما واحدا الى مسافة عشرة امتار تكون اكبر من المتقدمة بعشر مرات ويظهر لنا ايضا أن القوة التي تنقل في الزمن المذكور عشرة كيلوغرامات الى مسافة عشرة امتار تكون اكبر من القوة المذكورة بمائة مرة وهلم جرا

واذا قدرنا بهذه المثابة القوة المؤثرة في الاجسام المتحركة تحركا منتظما بواسطة افعالها مضروبة في المسافة التي تقطع في مدة وحدة الزمن اعني بواسطة افعالها مضروبة في سرعتها تحصل معنا ما يعرف بكمية تحرك الاجسام

فاذا جلتنا  $M$  و  $m$  رمزين بحسبى  $X$  و  $x$  و  $Q$  و  $q$  رمزين للسرعتين الداخلتين لهما فنحصل معنا كيتا تحركهما  $MQ$  و  $m q$  اعني القوتين الداخلتين لهما ولنجعل  $X$  كتابة عن  $MQ$  و  $x$  كتابة عن  $m q$

ومنى تحرك الجسمين في جهتين متضادتين كان فاضل القوتين المحركتين وهو

$MQ - m q$  هو القوة المحصلة المحركة للجسم  $M + m$  وحيث ان هذه القوة مساوية للجسم مضروبا في السرعة فالسرعة تساوى القوة مقسومة على الجسم فاذن تكون السرعة التي يتحرك بها الجسمان هي

$$\frac{MQ - m q}{M + m} = \frac{X - x}{M + m}$$

وفي الاصطدام الذي اختبرنا تأثيره تكون كمية التحرك الكلية قبل الاصطدام هي  $م ق + م ن$  ولا تكون بعده الا  $م ق - م ن$  فاذن تكون كمية التحرك التي اعدمها الاصطدام مساوية  $٢ م ن$

فعلى ذلك اذا تصادم جسمان متجهان الى جهتين متقابلتين ولم يكونا مرين فان تعينت كمية تحرك كل منهما كانت كمية التحرك التي اعدمها الاصطدام مساوية لضعف اصغر الكميتين المذكورتين

فاذا اريد حينئذ أن لاتعدم قوة ما في تحرك الاكالات لم أن لا يكون هناك اصطدام بالكلية بين الاجزاء المتنوعة من هذه الاكالات المتحركة في جهات متقابلة وهذه قاعدة مطردة ينبغي العمل بها في صناعة الاكالات وتحركها فان كل وثبة او تحرك سريع ينشأ عنه ضرران احدهما تنقيص كمية التحرك دائما وثانيهما تغيير صلابة الاكالات ومدتها

واذا تحرك الجسمان في جهة واحدة فان القوة المحصلة المتحركة لجسم  $م + م$  تكون في مدة الاصطدام  $م ق + م ن$  وتكون السرعة التي يتحرك بها هذان الجسمان هي

$$\frac{م ق + م ن}{م + م} = \frac{خ + غ}{٢ + ٢}$$

ولنوضح كيفية تقدير توزيع القوى في اصطدام الاجسام الجامدة بهذه العملية فنفرض أن الجسم  $غ$  مجسم قدره ٣ كيلو غرامات والجسم  $خ$  مجسم قدره كيلو غرام واحد ونفرض ايضا أن  $غ$  يقطع مسافة مترين في مدة ثانية واحدة وأن  $خ$  لا يقطع في هذه الثانية الا مسافة متر واحد فتكون كمية تحرك جسم  $غ$  هي  $م ق = ٢ \times ٣ = ٦$  وكمية تحرك جسم

$$خ هي م ن = ١ \times ١ = ١$$

فاذا تقر هذا وتحرك الجسمان في جهتين متضادتين حدث  $م ق - م ن$   
 $= ٦ - ١ = ٥$  و  $م + م = ٢ + ٣ = ٥$  فاذن

فأذن تكون السرعة المشتركة بين الجسمين بعد اصطدامهما  $\frac{5}{4}$  أعني أن كلام من الجسمين يقطع  $\frac{5}{4}$  من المتر في الثانية الواحدة بعد الاصطدام فإذا كان الجسم الصغيره سرعة يقطع بها مسافة ٦ امتار في الثانية الواحدة فانه يحصل  $6 \times 1 = 6$  فأذن تكون  $6 = 6$  و  $6 = 6$  و  $6 = 6$  وبناء على ذلك يحصل التوازن

فإذا اريد اعدام تحرك جسم دفعة واحدة كان لذلك ثلاثة وجوه الاول أن يدفع عليه جسم مساو له في الجسم ويكون سيره اليه بسرعة كسرعته والثاني أن يدفع عليه جسم اخف منه لكن تكون سرعته اعظم من سرعته والثالث أن يدفع عليه جسم اقل منه لكن تكون سرعته ابطأ من سرعته

وفي اشغال الفنون دائما مشاواهد الدالة على انواع التوازن المختلفة التي تحصل من تأثير الاصطدام بواسطة خشبة او قضيب او مطرقة او عصي ثقيله قليلا او كثيرا على حسب مجسم الجاد او الحيوان الذي يدفع على النوع الانساني ويمكن باستعمال سرعة عظيمة اضعاف حركة الحيوان او الجاد وتأخير او سقوطه كما هو الغالب فمن ثم نرى الصبيان الذين يسرعون العدو والجري يسقط باصطدامهم من هو اكبر واقل منهم بكثير كالرجال اذا كانوا يمشون الهويناء ومن هذا القبيل ايضا العرب العريفة التي يكون اندفاعها بسرعة عظيمة فانها عند الاصطدام تقلب العرب التي تكون اقل منها اذا كان سيرها هينا

ويستخرج من قوانين اصطدام الاجسام نتائج مهمة تتعلق بالفنون الحربية اقتصرنا في بيانها هنا على فن واحد من تلك الفنون حاصله

(انه عند اصطدام جيوش الخيالة في الحرب تكون الكاتبات صف او صفين ثم ترتفع بسرعة تزايد بالتدرج حتى تصادم ما يقابلها من الكاتبات خيالة كانت او قرابة والغرض هنا معرفة ما يحصل حيثئذ بما يخص هذا الموضوع فنقول

ان الجهة التي تكون فيها كمية تحرك الكتيبة أعني مجموع ثقل الخيول وعددها والخيالة والاسلحة مضروبا في السرعة عظيمة تظهر بالضرورة على غيرها

وتظفر بها وتكون كمية التحرك التي تفضل بها الكتيبة الصادمة على الكتيبة  
المصدومة مساويا لفاضل كيتي تحركهما مقسوما على مجموع الكيتينتين  
ولنفرض أن الكتيبة المهجوم عليها تثبت محلها او تنشئ الهوناحتي تصادمها  
الكتيبة الهاجمة بحيث ان كمية تحرك الكتيبة المهجوم عليها تساوى الكتيبة  
مضروبة في سرعة تساوى صفرا فان هذه الكمية تصير معدومة فلا تكون  
موازنة لكمية تحرك الكتيبة الهاجمة

وقد دلت التجربة على أن الجيوش الخيالة المولقة من خيول ورجال شداد ثقلا  
لا يمكنها أن تصبر وتثبت لمصادمة جيوش خيالة اخرى اخف منها لكن اذا كانت  
سرعتها متوسطة فانها ربما توازنت مع الجيوش الخفيفة او قلبت خيولها  
ورجالها الخفاف المندفعين عليها بسرعة عظيمة ثم ان الغرض الاصل من هجوم  
الخيالة هو تحصيل اعظم درجة من السرعة عند المصادمة ولاجل معرفة الكيفية  
التي يتوصل بها الى ذلك نقول

ان حصول التحركات في وقت الاصطدام لا يتعلق الا بالكتيبة والسرعة في هذا  
الوقت فيمكن أن تكون هذه السرعة باقية على حالها عند الاصطدام ولو بلغت  
قبل ذلك ما بلغت ليكون التأثير واحدا واذا كان المطلوب مثلا تلطيف تحرك  
جسم ثقيل وقع من ث الى ح (شكل ٢) بسرعة معجلة فلا يلفت

عند وصوله الى ح الى ما كان له من السرعة في ح و ع و ح الخ  
اذا كانت كمية تحركه واحدة في ح المذكورة اعني اذا كان متحركا على  
الدوام بسرعة الاصلية ولم يأخذ في مبدئه تحركه سرعة هينة تزداد بالتدريج  
فان تكون مصادمة الشامردان للخابور واحدة اذا كانت سرعته واحدة دائما  
في وقت الاصطدام

فعلى ذلك يوجد في الاصطدام وفرع عظيم في القوى اذا كان التحرك في مبدئه الامر  
بطيا بالتدريج وكانت السرعة تزداد بالتدريج بحيث لا تبلغ نهايتها الكبرى  
الا في وقت الاصطدام

ولتذكر لك وفرع القوى الذي يحدث في مصادمات الخيالة فنقول ان اعظم جزء

من المسافة المطالب قطعها قبل الاصطدام يكون قطعها بالهوا ساطعة خطوة  
والجزء الثاني يقطع بالهرولة والثالث بالجب والرابع وهو الاخير بالرض  
والعدو بحيث لا تقطع فيه حركة الخيل وتكون كلها في التحرك بجسم واحد  
فان كان يكون الاصطدام في الحقيقة واحدا كما لو كان الخيول من مبداء الرقص  
السرعة التي اكتسبتها اخيرا لكن لا يمكنها أن تقطع مسافة عظيمة بمثل هذه  
السرعة لان ذلك يؤدي الى فتور همتها وانعدام قوتها من غير أن تتجدد فيها قوة  
اخرى

ويظهر أن تطبيق قواعد اصطدام الاجسام على حركات الخيالة في غاية من  
الوضوح والظاهر ايضا انه يمكن ضبطها على اسهل وجه ومع ذلك فلم تكشف  
ويوقف على حقيقةها الا بعد مضي عدة قرون  
وذلك أن الامة الرومانية مكثت في الحرب ثلثمائة سنة وهي لاتعرف تأثير سرعة  
الخيول في قوة المصادمات الواقعة من الخيالة بخلاف خيالة التوميدية الحقيقية  
فانها علمت بهذه القواعد فطورت بخيالة الرومان الثقيلة في جميع مصادماتها  
وايضاً كانت قلة سرعة الخيالة الرومانية تمنعهم عمالاً بقلهم منه كان امراء  
الرومان الشوالية يفترون القرصة وينزلون على الارض ويقاوتون بجميع كنية  
التحرك التي تصدر من الابطال وغول الرجال الذين لا يلحقهم التعب من المشي  
ولامن الجري

وقد مكثت قواعد اصطدام الاجسام المطبقة على حركات الخيالة وعلى نصرات  
فريدريك التي حازها بحسن مراعاته لهذه القواعد مجهولة عند المتأخرين  
الى القرن الاخير من تاريخ ذلك العصر  
وتجربى هذه القواعد ايضا في حروب القرابة وسائر الجيوش على اختلافها  
لا سيما في الحروب التي تكون فيها الكتائب عظيمة وليس هذا محل بسط الكلام  
على هذه القواعد فانها مما يخص المدارس العسكرية دون غيرها  
هذا وقد اعتبرنا فيما سبق الى هنا الاجسام المتصادمة كأنها قط مادية ولنعتبر  
الآن امتدادها وصورتها حتى نتعلم لنا احوال توازنها وتحركها فقول



إذا فرضنا أن جسمي  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  (شكل ٣) يتحركان في جهة واحدة  
 أو جهتين متقابلتين على اتجاه مستقيم  $\overline{غ}$  الواصل بين مركزي الثقل ثم فرضنا  
 أن سطحى هذين الجسمين عمودان في تقاطع  $\overline{ش}$  و  $\overline{ش}$  على مستقيم  $\overline{غ}$  المذكور  
 فإن القوة التي تصادم بها جسم  $\overline{م}$  مع جسم  $\overline{م}$  تنعدم بواسطة سطح  $\overline{م}$   
 وكذلك القوة التي تصادم بها جسم  $\overline{م}$  مع جسم  $\overline{م}$  فانها تنعدم ايضا  
 بواسطة  $\overline{م}$  هذا اذا كانت كمية تحرك الجسمين واحدة

ولنفرض الآن (شكل ٤) أن سطحى الجسمين مائلان بالنسبة لمستقيم  
 $\overline{غ}$  الا انهما متوازيان في  $\overline{ش}$  و  $\overline{ش}$  الموضوعتين على مستقيم  $\overline{غ}$   
 الواصل بين مركزي ثقل جسمي  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$

وهذان الجسمان يتماسان عند الاصطدام (شكل ٥) وليكن  $\overline{اث}$   
 و  $\overline{اث}$  رمزين الى جزءي مستقيم  $\overline{غ}$  الدال على كميتي التحرك  
 اللافتيين لجسمي  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  ولتد  $\overline{بث}$  عمودا على الاتجاه المشترك  
 بين جسمي  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  في  $\overline{ث}$  ثم تد  $\overline{اب}$  و  $\overline{ا}$  عمودين على  
 $\overline{بث}$

فإذا حصل الاصطدام تحركا اولاجسا  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  تحركا مستقيما  
 في جهة  $\overline{غ}$  بسرعة مشتركة مقدارها  $\frac{\overline{اث} + \overline{اث}}{\overline{م} + \overline{م}}$   
 وثانيا يدور  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  حول مركزي ثقلهما بسرعة مساوية بالنظر  
 $\overline{شب}$  -  $\overline{ش}$  و  $\overline{ش}$  -  $\overline{شب}$  ومقسومة على مقدار  
 انفرسي  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$

ويؤخذ من هنا أن الجسمين يتصلان عن بعضهما بعد الاصطدام في صورة  
 ما اذا لم يكن سطحهما عمودا على المستقيم الممتد من مركزي ثقلهما  
 وهنالك صورة اصعب من ذلك وهي صورة (شكل ٦) لا تكون فيها نقطة

تمام الجسمين عند الاصطدام موجودة على المستقيم الواصل بين مركزي ثقل  
 غ و غ

ولما انهنما الكلام على احوال الاصطدام في صورة ما اذا كان الجسمان متجهين  
 على مستقيم واحد ناسب أن نكلم عليه في صورة ما اذا كانا متجهين على خطين  
 بينهما زاوية ما وتلاقيان في نقطة ١ (شكل ٧) فنقول لتكن ح و خ  
 هما القوتان الدالتان على كيتي التحرك الدافعتين للجسمين فاذا رجعنا متوازي  
 الاضلاع وهو ا ب د ث الذي ضلعا وهما ا ب و ا ث مناسبان  
 لتقوى ح و خ كان وزره وهو ا د دالا على كية التحرك الدافعة  
 للجسمين المتلاقين في نقطة ١ وعلى الاتجاه المشترك الذي يتبعه هذان  
 الجسمان بعد الاصطدام اذ لم يكونا مرتين فاذن اذا جعلنا م و م ومزير

مجسمي الجسمين فان سرعتهم بعد الاصطدام تعلم من  $\frac{اد}{م ق + م و}$  و ا د

هو عبارة عن كية التحرك

وتكون قوانين توصيل التحرك واحدة اذا كان كل من الجسمين يتحرك على منحن  
 متواصل عوضا عن تحركهما على مستقيم واحد لانهما يقطعان في الزمن التليل  
 الذي يعقب الاصطدام مسافة تنطبق على مستقيم صغير عماس للمحني في النقطة  
 التي يحصل فيها الاصطدام

فعلى ذلك اذا اخذنا مثلا بندولين بسيطين ككبدولي ح و ح  
 (شكل ٨) متحدين في الطول فهما كان مجسمهما هذين البندولين فان قوانين  
 الاصطدام تصير عين القوانين التي توجد في صورة ما اذا كانا يتصادمان معا  
 في الوضغ الذي يكون فيه كل من خطيهمار أسبيلان جسسي ح و ح  
 يصلان الى هذا الوضع يكون احدهما يقطع خ ح والاخر يقطع غ غ

المماس في ح و ح لمستقيم ط ط  
 فاذا فرضنا حينئذ الى ارتفاع واحد من خ و غ مجسمي ح و ح

المتساويين فأنهما ينزلان في زمن واحد بسرعة واحدة الى وضعي ح و ح  
فيتصادمان فيهما لكن حيث ان الجسمين المضروبين في سرعتيهما متساويان  
هنا من الجهتين فان التوازن حيثئذ يكون حاصل لا يتحرك الجسمان بعد  
الاصطدام

فاذا كان احدا الجسمين كبير احصل التحرك في جهته على حسب القانون المعلوم

$$\text{من معادلة } \frac{م ق - م ن}{م + م}$$

ولنضرب الآن اصطدام جسم يتحرك تحركا مستقيما مع جسم يتحرك وهو دوائر  
على نفسه فنقول

لنفرض أن جسما بجسم م (شكل ٩) مركز ثقله في غ يدور حول  
محور ث المين بنقطة ث وقد افترضنا في الدرس السابع من هذا الجزء  
انه يوجد على امتداد مستقيم ث غ نقطة كنقطة ث فهذا يمكن  
أن نفرض دائما أن جسم م يكون محصورا بتمامه في نقطة ث  
ويكون زيادة على ذلك مدفوعا بآلية التحرك التي تكون للجسم بدون تغير  
سرعة هذا الجسم المتزوية ولنفرض ايضا أن جسم م يعارضه عند تحركه  
مانع مثل م وانه في نقطة آ التي يعرض فيها هذا المانع للجسم يكون سطح  
المانع و سطح الجسم عمودين على خط ث آ العمودي على ث ث فينعدم  
جميع تحرك الجسم بسبب هذا المانع الثابت بالفرض فاذن يبقى الجسم ساكنا  
بواسطة تأثير الالتصاق وعند الاصطدام لا يكون محور ث ثابتا ونعرف  
نقطة ث المذكورة بمركز الالتصاق

فاذا كان المانع الثابت المدلول على مقاومته بحرف ف على وجه بحيث  
يكون بعد ث د اكبر من ث ث (شكل ١٠) او اصغر منه (شكل ١١)  
فان محورا الدوران تعرض له مقاومة من تأثير الاصطدام

وجسم  $\overline{م}$  الواقع عليه تأثير قوى  $\overline{ف}$  و  $\overline{ف}$  يكاد ينثنى أو ينكسر  
بين  $\overline{ث}$  و  $\overline{د}$  (شكل ١٠) وكذلك بين  $\overline{ث}$  و  $\overline{ث}$  (شكل ١١)  
فيحدث بموجب توازن القوى المتوازنة

$$\overline{ف} \times \overline{ث} = \overline{ف} \times \overline{ث}$$

وزيادة على ذلك يكون تأثير  $\overline{ف}$  الحاصل من المحور بواسطة الاصطدام  
مساويا  $\overline{ف} - \overline{ف}$  (شكل ١٠) و  $\overline{ف} - \overline{ف}$  (شكل ١١)  
وحينئذ فكلما كان الاصطدام حاصل على مستقيم  $\overline{اف}$  ولم يكن على  
بعد من  $\overline{ث} = \overline{ث}$  عرض المحور  $\overline{ث}$  الثابت مقاومة من الاصطدام  
فاذا كان  $\overline{ث} = \overline{ث}$  (شكل ١٠) اصغر من  $\overline{ث}$  دفعت مقاومة  
الاصطدام المحور الثابت الى جهة مضادة لجهة دوران جسم  $\overline{م}$  واذا كان  
 $\overline{ث} = \overline{ث}$  اصغر من  $\overline{ث}$  دفعت مقاومة الاصطدام المحور الثابت الى جهة  
دوران جسم  $\overline{م}$  وهذه النتائج تستعمل بدون واسطة في اشغال الفنون  
فتستعمل غالبا المطارق والقامع التي تتحرك تحرك دوران لاجل تحصيل  
الاصطدامات \* ولكيلا يعرض لمحور المطرقة وهو  $\overline{ث}$  (شكل ١٢)  
مقاومة ما عند الاصطدام يلزم استيفاء جميع الشروط الموجودة في شكل ٩  
فعلى ذلك اذا كان  $\overline{م}$  هو الجسم الموضوع على السندان و  $\overline{ا}$  هي النقطة التي  
يقع عليها دق المطرقة كان مستقيم  $\overline{اف}$  العمودي في نقطة  $\overline{ا}$  على سطح  
المطرقة مارا بنقطة  $\overline{ث}$  التي هي مركز الالتصام وكان مستقيم  $\overline{ث} = \overline{ث}$   
عمودا على  $\overline{ا}$

فاذا حرك الصانع المطرقة بيده (شكل ١٣) فان لم تكن جميع الشروط المذكورة  
مستوفاة عرض للبد مقاومة مؤالة وتكون تلك اليد مدفوعة الى جهة مضادة  
لجهتها او مضغوطة في جهة التحرك الحاصل له على حسب قرب النقطة التي يقع  
فيها الاصطدام قريبا قليلا او كثيرا او بعدها كذلك عن محور دوران المطرقة

ثم ان الاصطدام المستقيم بالجسم يستعمل في تحريك بندول يرتجح حول محور  
ومثل هذا التأثير يقع في التجارب الحاصلة في شأن البندولات الطولية  
فلنفرض كتلة متجمعة من الخشب ككتلة  $M$  (شكل ١٤) محاطة بروابط  
من حديد ومعلقة في محور  $ش$  بفضبان من حديد ايضا

ونطلق رصاصة او كرة ككتلة  $m$  في بندول  $m$  ولا بد أن نخذفها بحيث  
تكون على اتجاه المستقيم المار بنقطة  $ش$  التي هي مركز الالتصاق فاذا وقفنا  
بذلك لم يعرض لها مقاومة ما على محور الدوران وهو  $ش$  وتكون سرعة  
البندول المتزوية مساوية  $m \times ش$  ومقسومة على مقدار انحراف  
البندول الذي تدخل فيه الرصاصة

فاذا علمت مقدار انحراف البندول ومحسبى  $m$  و  $م$  وبعد  $ش$  علمت  
بواسطة عملية سهلة سرعة كل من هذين الجسمين عند الاصطدام وهذه هي  
الكيفية المستعملة في قياس سرعة المحذوفات قياسا صحيحا ولهذا القياس  
اهمية عظيمة في فنون الطبولوجية

وقد تقدم أن القوى لا تنعدم كلما كان تأثيرها واقعا في جهات متقابلة فاذا كان  
المطلوب أن القوى لا تنعدم كما هو الواقع في اغلب الحالات لازم أن تقترب  
في هذه الحالات حسب الامكان الاصطدامات الناشئة من التحويلات  
في جهات متضادة

ويلزم لذلك ايضا اجتناب الاحتكاكات التي عوضا عن أن تكون متواصلة  
وغير ظاهرة تكون حاصلة بواسطة رجات ووثبات ومقاومات ينشأ عنها دائما  
بعض اصطدامات مضرة وحيث ان هذه الاصطدامات لها دوى وقرعة  
ويصل بها ما نلاحظه علم من ذلك أن اجودالات هو ما يكون تحركه صادرا  
مع الالتصاق والطف بدون قرعة ولا اضطراب  
ومن اهم الاشياء ما يستعمل من الاحتراسات في اجتناب مثل هذه  
الاصطدامات في الطارات المضرة

فلنفرض (شكل ١٥) أن ضرس د من طارة و يتقلت في وقت دفعه لضرس د من طارة و قبل أن يصل ضرس د الى ضرس د من الترس الصغير فلا يجدها هذا الترس حيثئذ ما يعارضه فاذا وقع عليه تأثير قوة تحرك تحركا تقهقريا حتى يتلاقى د مع د فاذن يحصل الاصطدام في جهتين متضادتين ويعقب ذلك انعدام كمية التحرك ويلزم بمقتضى القاعدة المطردة أن يصل ضرس د الى د قبل انفصال ضرس د و د عن بعضهما

ولندرك هنا المحفوظات التي لاحظناها في شأن الاصطدامات الصغيرة الحادثة من تحرك السفن حيث انها تجري في سائر انواع الآلات فنقول انه بموجب ما سبق اذا كانت السفينة مستقرة عرض لجزءها الاسفل انكماش و انقباض و لجزءها الاعلى اتساع و امتداد و حدث عن هذين التغيرين أولا امتداد الياض الخشب او انكماشها وثانيا تلف قطع الاخشاب المتلاصقة و انفصالها عن بعضها وثالثا اختفاء المسامير المنكشة لها او تكسرهما وكلما تزايدت مقادير القوى المغيرة تزايدت تأثيراتها ايضا غير أنها فيما بعد لا تتناقص نسبة واحدة عند تناقص هذه المقادير لان التغير المذكور انما يقع في الاجسام غير تامة المرونة

فعلى ذلك اذا تناقص تقوس السفينة اعتدلت المسامير واستقامت قليلا وقطع الاخشاب التي انفصلت عن بعضها لا تتصل ثانيا الا من بعض اجزائها وكذلك الالياف الممتدة فانها تنكمش انكماشاً كافياً والالياف المنكشة لا تعود الى طولها الاصل بالكلية

فاذن لا يوجد عظيم اتحاد بين مواد السفينة ومثل هذا العيب يؤثر في اخشاب السفن تأثيراً شديداً

وافتحال هذه المواد لا يمنع من أن كل جزء منها يتحرك بدون معارض قليلا او كثيرا على حسب الاجراء التي كانت مجتمعة معه في الاصل قبل الافتحال ويطلق على مجموع هذه التحركات الصغيرة اسم تحرك الاخشاب

واذا فرضنا أن القوى المغيرة مؤثرة في سفينة جميع اجزاها متحركة فان أول تأثيرها يكون عبارة عن تحويل مواد تلك السفينة عن اوضاعها بحسب ما تأخذ من الاتجاهاات بواسطة تحركها ولا يعارض تحويل تلك المواد المقاومة انزساها والى هنالم يتخص شيء من كمية القوى النشطة في الدافعة للسفينة بتمامها وانما يعرض لكل جزء عند تحويله عن وضعه بدون معارض على الوجه المذكور سرعة فاذا حصل له مقاومة شديدة من بقية الاجزاء حدثت عن هذه السرعة اصطدام

فعلى ذلك لا يكتفى الضغط الهين في كون اجزاء السفينة تؤثر على بعضها بحيث تمتد وتتكس وبالا اصطدام تزيد شدة القوة الاضطرابية زيادة بالغة وبذلك تبقى القوى المغيرة على حالها ويرداد تحرك قطع الخشب على الدوام وينشأ دائما عن ذلك تأثيرات تصير بالتدريج خطرة مضرّة

ثم ان ما ذكرناه من الاصطدامات هوائى بالضرورة عن السرعة الغير الديثة في صورة التغيرات البطيئة الواقعة في وسط السفينة وتكون شديدة سريعة في صورة ما يحدث عن القوى الطبيعية من الاضطراب

ولا يلزم أن نطبق على صناعة السفن ما يمكن تطبيقه على تشييد عمارة في الارض لا ينضم فيما تأثير القوة المغيرة الى تأثير قوة تناقل المواد وانما يلزم اعتبار السفينة في حالة سيرها على البحر المضطرب كثيرا او قليلا اوفى حالة اضطرابها بالرياح القوية كثيرا او قليلا النابتة كثيرا او قليلا والدافعة كثيرا او قليلا •

فيعلم من ذلك أن مقادير القوى التي يحدث عنها تقوس السفينة تتغير في كل وقت حتى انها عند التقدم والمؤخر تكون بالتعاقب موجبة وسالبة فيلزم اذن أن نعتبر السفينة المضطربة بالبحر والرياح كتعبان لا يزال عند عومه على وجه البحر المتحوج ينحى وينثنى في المستوى الرأسى من طريقه ويسير الى جهة الامام فيحدث عن سيره تلك المثابة خط منعوج

ثم ان قواين اصطدام الاجسام الصلبة المجردة عن المرونة هي كقوانين الاجسام الرخوة وما يعرض من التغير للاجزاء المنقوعة من هذه الاجسام لا يغير شيئا

من التحرك في وقت الاصطدام وليس الامر كذلك في اصطدام الاجسام المرنة  
فاذا تقابل جسمان على غاية من المرونة وكانا متعددين مجسما وسرعة وضواعن  
كونهما يتوازنان ويلازمان السكون بعدم كل منهما قوة الاثر ويحول اليه  
جميع ماله من القوة الخاصة به فعلى ذلك يتقهقر كل منهما في طريقه بما كان له  
من السرعة قبل الاصطدام ولا تغيرية تحركه وهذه الخاصة للاجسام المرنة  
المتحدة في الجسم والسرعة لا تغير بتغير المجسمات والسرع بحيث يبقى مجموع  
كميات التحرك على حالة واحدة قبل الاصطدام وبعده

ولذلك هنا بعض تطبيقات على هذه القاعدة فنقول لنفرض أن جسم  $A$   
الساكن (شكل ١٦) يصدمه جسم  $B$  المتحرك معه في الجسم وهو  
م وفي السرعة وهي  $C$  فتكون كمية التحرك صفرا بالنسبة الى جسم  $A$   
و  $C$  بالنسبة الى جسم  $B$  فحينئذ تكون الكمية المذكورة بالنسبة  
لجسمين هي  $C$  فاذا وصل جسم  $B$  الى جسم  $A$  ساكنة  
التحرك هي  $C$  غير أن جسم  $A$  لا يمكنه أن يصل الى جسم  $B$   
الأكية تحرك تساوى صفرا اعني معدومة فاذا لم يعلم جسم  $B$  كمية تحركه  
تمامها فيبقى ساكنا واما جسم  $A$  الذي اخذ جميع كمية تحرك جسم  $B$   
واتحد معه في الجسم فانه يتحرك بالسرعة التي كان يتحرك بها جسم  $B$   
ولنفرض الآن أن هناك (شكل ١٧) ثلاثة اجسام مرنة ومتحدة الجسم  
كاجسام  $A$  و  $B$  و  $C$  وليكن جسم  $C$  هو المتحرك دون  
غيره فبصادمة هذا الجسم بجسم  $B$  يصل اليه جميع كمية تحركه ويبقى  
ساكنا وكذلك بصادمة جسم  $B$  بجسم  $A$  يصل اليه جميع كمية تحركه  
 ويبقى ساكنا فاذا يتحرك جسم  $A$  دون غيره بكمية التحرك التي كان  
يتحرك بها جسم  $C$

ويتحصل مثل هذه النتيجة في صورة ما اذا كان هناك اربعة اجسام او خمسة الخ  
متساوية وكان الاخير منها هو المتحرك دون غيره فالاجسام المتوسطة تبقى بعد



الاصطدام ساكنة دائما كالجسم الاخير بخلاف الجسم الاول فانه يتحرك ويسير  
الى الامام بجميع كمية التحرك التي كان يتحرك بها الجسم الاخير  
وتضع هذه الحقيقة الميكانيكية بواسطة ا كرمم العلاج مثل ا و ب  
و ث (شكل ١٨) تعلق بخيوط على صورة بندولات  
فاذا ابعدت اولا كرتين احدهما عن يمين الخط الرأسى الممتد من نقطة  
التعليق والاخرى عن شماله وخليتا ونفسهما للوقوع في زمن واحد فانهما يصلان  
الى الخط الرأسى في زمن واحد بسرعة واحدة ثم يتعقران في طريقهما  
بالسرعة المذكورة

فاذا كان العلاج تام المرونة ولعب به في الفراغ فان الاكرت تصعد بالضبط الى ارتفاع  
مبدعها فاذا وقعت كلها من هذا الارتفاع في زمن واحد فانها تصادم ايضا  
بسرعة واحدة ويحدث من ذلك التحرك الدائري غير أن العلاج ليس من الاجسام  
التامة المرونة لانه لا يوجد في الاجسام الطبيعية ما هو بهذه المثابة فاذن تصعد  
الاكرت عقب كل اصطدام شيئا فشيئا الى اعلى ثم تنعدم عقب حصول عتقة رجات  
كميات تحرك تلك الاكرت الكلية

واذا علقت ثانيا ثلاث اكرت من العلاج وكانت عماسة لبعضها البعض ورفعت الكرة  
الاولى وهي ا الى ح (شكل ١٨) ثم خلبت ونفسها للوقوع فان الكرة  
المتوسطة وهي ب تبقى في هذا الوقت ساكنة وتصعد الكرة الاخرى وهي  
ث الى خ في ارتفاع نقطة ح ثم تقع ثانيا وتصل تحركها بواسطة  
كرة ب الى كرة ا فتصعد الى ح ثم تهبط كالكرة الاولى وهلم جرا  
ويتصل مثل هذه النتيجة في صورة ما اذا كان هناك اربع اكرت وخمس او ست  
او اى عدد كان من الاكرت

ولا تقتصر هنا على ذكر الاصطدام المستقيم في الاجسام بل نذكر ايضا قوانين  
اصطدامها المتحرك مقتصرين في ذلك على فرض أن احد الجسمين ثابت  
ومستويا لا يتحرك وروما للاختصار حسب الامكان فنقول  
انه في الوقت الذي يتلاقى فيه في نقطة ث كرة ض (شكل ١٩)

المدفوعة بقوة أو المخرقة مع المستوى الثابت تدور هذه الكرة حول نقطة  $\theta$  بقوة تساوي أو  $\times \theta$  الذي هو خط عمودي على  $\theta$  و  $\theta$  وترسم مستطيل  $\theta$  الذي ضلعاها  $\theta$  و  $\theta$  موازيان لمستوى  $\theta$  وضلعاها الآخران  $\theta$  و  $\theta$  عمودان على هذا المستوى

فحيث ان قوة أو تدخل الى  $\theta$  و  $\theta$  اذا كانت الكرة والمستوى جسمين مجزئين عن المرونة لم يبق معنا ذن الا  $\theta$  و  $\theta$  و  $\theta$  التي هي عبارة عن ضغط الكرة على المستوى الثابت فيعدمها هذا المستوى

وبواسطة الاحتكاك الحاصل لمستوى  $\theta$  من ضغط  $\theta$  تتحرك الكرة المدفوعة بقوة  $\theta$  والموازية لهذا المستوى وقد تقدم في الدرس الثالث

عشر بيان الكيفية التي بها يمكن تقدير التأثيرات الحاصلة من هذه القوة وحيث ان الاحتكاك يمنع الكرة عن التزحلق على مستوى  $\theta$  فانها تتدحرج ١٠٤ المستوى كما تتدحرج العجلة على الارض فاذا كان المستوى

بتمامه يسوي بالسهولة كانت مقاومة الاحتكاك الواحدة بالنسبة لضغط

$\theta$

فاذا لم يكن الجسم الذي يصادم المستوى محيطة مستدير فانه يتدحرج على هذا المستوى على وجه بحيث يصعد مركزه ويهبط بالتعاقب ويحدث من ذلك مقاومات غير متساوية ومبهمة كثيرا او قليلا تقتصر على ذكرها هنا فنقول ان هذه المقاومات غير المتساوية تدل على أنه يلزم في توصيل الجهود المتواصلة مع الانتظام الى طول المستوى الثابت بتمامه أن نستعمل دائما اجساما محيطة بها مستديرة كالكرو والاسطوانات والمخاريط وسطوح الدوران

على العموم

فاذا كان معنابلا عن الجسم الصلب جسم رخو يصدم المستوى الثابت كانت المسئلة غامضة يلزم فيها معرفة الصورة التي يأخذها الجسم الرخو بعد الاصطدام غير أن هذه الصورة قل أن استعملت مع القائدة في القنون الميكانيكية

ولا يقع مثل ذلك في اصطدام الاجسام المرنة فاذا كان جسم تام المرونة بجسم  $\overline{A}$  يصدم مستوى  $\overline{MN}$  (شكل ٢٠) فان قوة  $\overline{AO}$  الدافعة له تصل الى قوتين اخريين احدهما  $\overline{WS}$  التي تدفعه عموديا على مستوى

$\overline{MN}$  والثانية  $\overline{WK}$  التي تؤثر فيه بالتوازي لهذا المستوى وحيث ان هذه القوة الاخيرة لا يمنعها مانع فانها تستمر على تأثيرها بعد الاصطدام فاذا يتحرك الجسم دائما مع سرعة واحدة بالتوازي لمستوى  $\overline{MN}$  الثابت وحيث ان قوة  $\overline{WS}$  مؤثرة عموديا على  $\overline{MN}$  كان يجري عليها قوتين الاصطدام المستقيم في الاجسام المرنة فاذا يلزم أن تحوّل قوة  $\overline{WS}$  بتمامها الى المستوى الثابت وتعود الى وضعها الاصلى بواسطة مقاومة هذا الجسم المساوية دائما للتأثير فيصعد حينئذ الجسم المرن المدفوع بقوة مساوية لقوة  $\overline{WS}$  غير أنها تكون مقببة الى جهة مضادة لجهتها وبناء على ذلك اذا وصل جسم مرّن بجسم  $\overline{W}$  يتحرك منتظما مستقيما الى وضع بحيث انه

في زمن معلوم يقرب من  $\overline{WK}$  موازيا للمستوى الثابت ومن  $\overline{WS}$  و عموديا على هذا المستوى بعد حصول الاصطدام فان هذا الجسم يقرب في مسافة واحدة من الزمن من  $\overline{WK} = \overline{WK}$  موازيا للمستوى الثابت ومن  $\overline{WS}$  عموديا على هذا المستوى وحيثئذ يكون خط  $\overline{WA}$  التي هو عبارة عن اتجاها المسافة المقطوعة ومقدارها هو وتر الشكل

المتوازي الاضلاع القائم الزوايا وهو ش وك المساوي ش وك ا

فاذن تكون زاويتا اوش و اوش متساويتين

فعلى ذلك اذا صادم جسم تام المرونة مستويا ثابتا مصادمة على حسب زاوية تعرف بزاوية السقوط فانه يكون ملازما لسرعته وياخذ اتجاهها جديدا يبعده عن هذا المستوى ابعادا على حسب زاوية تعرف بزاوية الانعكاس وهي مساوية لزاوية السقوط

وقد سبق أن العاج قريب جدا من الاجسام التامة المرونة فلذا اذا صدمت الكرة المتخذة من العاج مستويا فانها ترتد مع سرعتها الاصلية بحيث تكون زاوية الانعكاس مساوية تقريبا لزاوية السقوط وبالجملة فلعب البليار مبنى على معرفة قانون اصطدام الاجسام المرنة

ولنفرض مثلاً أن خانة من خانات البليار كخانة ث (شكل ٢١) موضوعة على وجه بحيث يتأهب كحرف آ و ب فاذ لدنا ا ولا مستقيم ث ب ه حتى وصل الى خط م ن وثانياً مستقيم آ ه حدث معنا أن زاوية م ه ب = ن ه آ فاذ ادفعنا كرة آ الى نقطة ه انعكست على اتجاه ه ب وصادمت ب مصادمة مستقيمة ثم سكنت واما ب فانها انتقلت الى هذه النقطة مع سرعة كسرعة آ جهامها عند الاصطدام في اتجاه ب ث الذي يوصل الى الخانة وليست كرة ب في الغالب على اتجاه ث ب ه القائم الموصول الى الخانة كما في شكل ٢٢ فيلزم اذن أن كرة آ بعد أن ترمى الى ه وتنعكس بحيث يكون آ ه ن = م ه آ تصل الى وضع آ لتصادم كرة ب ثم تعود الى خانة ث (وهذا الشرط يتحقق اذا كان مستقيم م ه ن المماس لكرتين في نقطة تماسيهما موضوعا على وجه بحيث تكون الزاويتان الحادثتان منه مع مستقيمي ب ث و آ ه متساويتين)

ويؤخذ من ذلك أن لعب البليار يستلزم أن يكون النظر متمركزا على تصور  
الاتجاهات والزاويا وأن تكون اليد ايضا متمركزة على ما يرشدها النظر اليه  
وفي القرن السابع عشر استعمل الشهير ويان طريقة في اطلاق المدافع لها  
علاقة بانعكاس الاجسام المرنة وهي انه اذا اطلقنا كلة متوسطة الثقل ككلة آ  
على اتجاه أب (شكل ٢٣) المرتفع قليلا عن الافق فان تلك الكلة  
الواصله الى الارض بواسطة التناقل تقع في نقطة آ على حسب زاوية اكبر قليلا  
من زاوية ب أن وتنعكس حيثئذ على حسب زاوية ب أن المساوية  
زاوية ب أن تقريرنا ثم تقع مرة اخرى لترتفع ثانيا فاذا وجد حيثئذ على خط  
ال عدة موانع يلزم ازالتها فانا نطلق عليها الكل عدة مرات حتى يحصل بذلك  
الاصطدام والانعكاس او الوثوب وليس حصول الانعكاسات المتوالية  
او الوثبات مقصورا على صورة ما اذا ضربنا بالكلة على اجسام صلبة كالبحرران  
المبنية بالاجار والاشباب وكالحصون الثينة والسفن او ضربنا بها على ارض  
مبلطة او برية متسعة او نلوح كما فعله العساكر الفرنسيون في واقعة اوسترلن  
بل تحصل ايضا في صورة ما اذا رمينا اجساما مرنة على سائل تضرب سطحه  
على حسب زاوية سقوط صغيرة  
ومثل ذلك يعرفه حق المعرفة الصبيان الذين يرمون على وجه الماء حارا  
مسطحة فان هذه الاجار تنب ويحدث عنها سبع انعكاسات او ثمانية وعشرة على  
حسب كبر قوة الرامي وصغرها وخفة يده عند الرمي  
وفي الضوء الواقع على الاجسام الرخوة شاهد لطيف على ما للاجسام المرنة من  
الانعكاسات المهمة لان زاوية الانعكاس في هذا الوقوع مساوية دائما لزاوية  
السقوط واعظم الالات القرصية ضبطها هو ما تحقق به مرونة تلك الاجسام  
وقد تقدم في مجت الاصطدام أن الاجسام الصلبة والاجسام الرخوة يتعدم  
جزء من قوتها اذا كانت اتجاهاتها متضادة وذلك متعذر في الاجسام التامة  
المرونة ونادى في الاجسام غير تامة المرونة

وهذه المزية المختصة بالاجسام المرنة دون الاجسام الصلبة والرخوة جعلت استعمال تلك الاجسام نافعا جدا في علم الميكانيكا مثلا اذا لاحظنا تحرك العربات التي يعرض لمجالاتها دائما اصطدامات كبيرة او صغيرة من الاجزاء البارزة في عزمها وجدنا أن الاتفع في تلك العربات أن تحمل صناديقها او وسقها على يابايات لان تأثير هذه اليابايات يحفظ جزءا من القوة الاضحية كان يعدمه الاصطدام فيستعمل حينئذ هذا الجزء في تحرك العربة المتزايد واما جزء القوة الدافع للعربة من اسفل الى اعلى بواسطة تأثير اليابايات التي تنشئ على نفسها حين تأخذ القوة الدافعة من اسفل الى اعلى في التأثير فان مركز ثقل العربة يرتفع به قليلا وكثيرا لكن متى زال المانع وهبطت عجلات العربة بعد الصعود فان اليابايات الرافعة لصندوقها او وسقها تعيد مركز ثقلها الى ارتفاعه الاصلي بالنسبة الى العجلات

فعلى ذلك يعرض بواسطة تأثير اليابايات لمركز ثقل العربات تحركات قليلة السرعة والمتميزة الى اعلى والى اسفل فيكون هذا للتأثير ظاهرا جليا اذا قبل بين رجايات عربتين احدهما غير معلقة والاخرى معلقة بيابايات لاسيما اذا عظمت سرعة العربة المتزايدة وليست فائدة التأثير المذكور مقصورة على مجرد تقليل تعب السائح بل فائدة اخرى اعظم من ذلك وهي أنه يقي محصولات الصناعة المتعبة من ركاب السريعة والاصطدامات التي تضرب تلك المتقولات وتجنس بها فاذا علقنا هذه محصولات على يابايات لاجل ثقلها على العربات تحصل من ذلك فائدة ثان احدهما حفظ تلك محصولات حفظا تاما والثانية أنه يكتفي في ثقلها قوة صغيرة جدا وقد اشتهرت هذه القواعد منذ سنوات وجرى عليها العمل قري بمدينة باريس بجله كبيرة من العربات معلقة على يابايات ومعدة لنقل الاشياء السريعة التلف ولا زال استعمالها آخذا في الزيادة على مدى الايام لان له فائدتين احدهما تقليل الاتصال العظيمة بالتعبول المعدة لذلك والثانية منع ضرر ما ينشأ عن ثقلها من العوارض

وليس لليابايات مجرد هاتين الفائدتين اللتين هما تقليل ما يعطل سير العربات

وتقليل ما يعرض لاجالها من الاصطدامات بل لها ايضا فائدة اخرى وهي  
تقليل ما يعرض للعربات من الاصطدامات الشديدة او منعها بالكلية  
ثم ان مرونة الخبال تكسبها صلاحية لمقاومة الاصطدامات السريعة وتجعلها  
كاليابات كما يشاهد ذلك في الخبال المربوطة من احد طرفيها برأس الصاري  
ومن الطرف الاخر يجانب السفينة فاذا هبت الريح على حين غفلة واثرت  
في الشراعات بقوة جديدة فان الخبال الموجودة في جهة الهواء تمتد تدريجيا  
بواسطة تأثير هذه القوة الى النقطة التي تكون فيها المقاومة التدريجية الحاصلة  
من الخبال والمضافة الى المقاومة المتزايدة الحاصلة من ثبات السفينة عند ميلها  
بتأثير الهواء مكافئة لقوة الهواء الدافعة ثم ان نقصت هذه القوة الدافعة فان  
قوة مرونة الخبال تعيد هذه الخبال بالتدريج الى طولها الاصلي واما الصواري  
التي لمرونتها تنحني بجزء من الخبال فانها تعيدل بواسطة هذه المرونة ويكون كل  
من الخبال والصواري قابلا لمقاومة جديدة اذا عاد الهواء الى تأثيره السريع  
ومن المهم جدا ان تمتد الخبال مدا قويا قبل استعمالها في اسناد الصواري  
كالحواغيس والاطراف وذلك لان تلك الخبال في مبداء استعمالها تكون  
عرضة للمد كثيرا بواسطة تأثير القوى الجاذبة في الجهة الطولية بدون ان تعود  
الى امتدادها الاصلي عند انتطاع تأثير هذه القوى ويلزم من مبداء الامر  
ان تمتد حتى تبلغ الغاية في المد قبل ان يحصل من قوة مرونتها متعديتها  
مما يمكن الوصول اليه فيما تستعمل لاجله

وقد شاهدت السفينة ذات الكورينات الثلاثة المسماة بعبارة باريس حين  
انكسرت صواريخها العليا بين جزيرة فرسقة وافريقة لدماء الهواء وقتئذ  
وكان منشأ ذلك ان تلك السفينة كانت قريبة عهد بالتطعيم فكانت صواريخها  
محمكة بمجال لم تبلغ في المدا المدد اللازم بحيث يكون لقوة مرونتها تأثير كئيب  
المقاومة النافعة الكافية

واذا اريد وضع اهوان ثقيلة في جوانب السفينة ليرمي منها كال ذات الشال  
مطلبة لزم لاجل تخفيف الاصطدام الحاصل عند رمي الكلة الدافع لها ون على

